NO
PAPER
RIGHTS

REIMPRESSION
INTERDITE

National Research Council Canada
Conseil national de recherches Canada

Division of Electrical Engineering
Division de génie électrique

Bulletin of the Division of Electrical Engineering

1988–1989

Canada

91-06028/

Bulletin of the Division of Electrical Engineering

NRCC Ottawa May 1989
Volume 3, Number 3

Copyright 1989 by National Research Council of Canada

Permission is granted to quote short excerpts and to reproduce figures and tables from this bulletin, provided that the source of such material is fully acknowledged.

Additional copies are available free of charge from:

Editorial Office, Room 301
Division of Electrical Engineering
National Research Council of Canada
Ottawa, Ontario, Canada
K1A 0R6

Bulletin of the Division of Electrical Engineering

1988–1989

Table of Contents

Introduction 1

Industrial Liaison Office
- Organization and Activities 3
- Advanced Manufacturing Technologies and Industrial Automation 4
- Public Security Program 5
- Recent Papers 5

Laboratory for Biomedical Engineering
- Objective 7
- Program Description 7

Medical Engineering Section
- Autonomous Vehicle Development for Health Care Applications 11
- Orthopedics 13
- The Effects of Non-ionizing Radiation 13
- Discovery Paradigms for Taxonomic Classification of Disease 16
- Space Life Sciences 16
- Recent Papers 16

Rehabilitation Technology Unit
- Production Engineering of Aids for the Handicapped 19
- Recent Papers 20

Laboratory for Electromagnetic and Power Engineering
- Objective 21
- Program Description 21

Power Engineering Section
- Precision Electrical Measurements 23
- Electrical Insulation 25
- Electromagnetic Interference/Electromagnetic Compatibility 26
- Recent Papers 27

Laboratory for Intelligent Systems
- Objectives 31
- Program Description 31

Computing Technology Section
- Introduction 35
- Multiprocessor Architectures for Realtime Control 35
- Sensor-based Robotics 38
- Mobile Robot for Health Care Applications 42
- Recent Papers 45

Information Technology Section
- Introduction 47
- Knowledge-based Systems 47
- Intelligent Advisor Systems 49
- Engine Health Monitoring 51
- Recent Papers 52

Photonics and Sensors Section
- Introduction 55
- 3-D Vision 55
- Photonic Components for Industrial Inspection, Data Processing, and Sensing 62
- Recent Papers 65

Robotics and Automation Section
- Introduction 67
- Robotics 67
- Industrial Automation 67
- Expert Systems 72
- Recent Papers 75

Appendix A
- Organizational Chart 77
- Staff, April 1, 1988, to March 31, 1989 77

Author Index 82

Division of Electrical Engineering

Introduction

The activities of the Division of Electrical Engineering cover a range of objectives and a spectrum of technologies. They are distributed geographically across half of Canada and they impact on both the social and technological fabric of the nation. In spite of this diversity, the Division continues to maintain its homogeneity. The refocusing initiated by the cuts of 1987 was planned around this requirement. Through the initiatives taken since, the theme has not changed. Many of the projects described this year demonstrate the growing level of internal interaction within the Division.

Collaboration has, in fact, become one of the key elements in the Division's strategy for ensuring that the products of its Laboratories become directly useful to Canadians. At the Canadian Institute of Industrial Technology (CIIT) in Winnipeg we work with companies on projects which they initiate and plan. At the Rehabilitation Technology Unit (RTU) in Toronto we help bring to the market assistive devices for the handicapped and the aged. In Ottawa we work with university researchers, participate in Centres of Excellence and pre-competitive research consortia, undertake specialized R&D projects for industry and government departments, and work directly with Canadian industry to help increase productivity and competitiveness. Examples of all these activities can be found in the reports which follow.

Concurrent with and related to the efforts to enhance collaboration in ongoing activities is the continuing emphasis on technology transfer. The Industrial Liaison Office, in cooperation with technology brokers and the new NRC marketing officers, is seeking opportunities for exploitation of available capabilities and technologies. Harmony, the DEE vision systems, and an ultrasound probe for laser angioplasty are examples in this area.

A number of members of the staff have been specially honoured during the past year. John Arnold received a Civilian Commendation from the Ottawa Board of Commissioners of Police for "his time and effort to enhancing technical abilities in policing both here in Ottawa and across the country." Dr. John Densley was awarded the Thomas Dakin Award by the IEEE Dielectrics and Insulation Society, for technical achievement in the field of electrical insulation. This is the Society's most distinguished award. Dr. Morven Gentleman was the 1988 winner of The R.A. Ross Medal, presented by the Canadian Society for Electrical Engineering for the best paper on electrical and computer engineering subjects. Dr. Sabry El-Hakim was recognized by the International Society of Photogrammetry and Remote Sensing for his outstanding contribution to photogrammetry over the period 1984 to 1988. Alan Mortimer received a Special Award for service as Bioeffects Committee Chairman from the American Institute of Ultrasound in Medicine. The Division takes pride in these individual achievements, since they reflect the support of many colleagues.

The CIIT in Winnipeg continues to progress steadily towards its goals. Almost 80% of the office and laboratory space in the building is now occupied. Partners include 28 private companies, as well as government sponsored organizations, educational institutions, and associations. To help maintain this momentum, the Advisory Board has set up a Long-Range Planning Committee to create a strategic plan for CIIT for the coming decade.

This document can only give the reader an indication of the depth and breadth of the activities of the Division. Anyone looking for more detail — to understand the technology, to explore potential collaboration, to seek opportunities for commercial exploitation — should contact the scientist, the Industrial Liaison Office, or myself. We know that the only true measure of the value of our work is the use to which it is put.

S.A. Mayman
Director
Division of Electrical Engineering
March 1989

Industrial Liaison Office

Industrial Liaison Officer — A.M. Hlady

Organization and Activities

A.M. Hlady, G. Neal, D.H. O'Hara

In its strategic objectives and current priorities, the Division of Electrical Engineering (DEE) continues to emphasize R&D activities that are in collaboration with and in support of Canadian industry. To facilitate these interactions between the private sector and DEE laboratories, the Division maintains an Industrial Liaison Office (ILO) whose main functions are to promote awareness of Divisional capabilities, identify industry requirements, and arrange mutually beneficial working relationships between the laboratories and outside organizations whereby NRC does work for, collaborates with, and/or transfers technology to its clients and partners. Although the primary emphasis is working with industry, DEE also collaborates with universities and government departments.

As a federal government agency, NRC has legislated and policy constraints which dictate its general operating principles. However, within these limits, there exist many possible mechanisms for working with clients and partners. For example, in projects in which technology is being transferred from a DEE laboratory or in joint R&D projects in which both parties are working cooperatively toward a common goal, a staff member from the partner organization may spend time at NRC working alongside NRC researchers and sharing NRC facilities. Although the DEE capacity to accept such guest workers is limited, this has proven to be an effective way of working together. Other arrangements for these R&D projects range from cost-shared collaboration to full cost recovery by NRC, depending on the nature of the project.

Prior to project implementation, the ILO and the prospective client/partner select the approach that best suits the circumstances. In arriving at a suitable arrangement with a client/partner, the ILO also works with technical, legal, financial, and administrative staff at NRC. After both parties are satisfied with the terms and conditions of the proposed project, the arrangement is documented by means of a signed agreement which ensures a common understanding of the role and contribution of each party and of issues such as the ownership and distribution rights associated with any intellectual property resulting from the project.

Outside organizations will consider entering into an arrangement with DEE only if they are aware of what the Division has to offer — the scientific and technical expertise, the laboratory facilities, the access to complementary capabilities in other organizations. The ILO has promoted and marketed DEE capabilities through exhibiting at conferences, distributing brochures, and meeting with prospective clients/partners, but there is still much to be done to raise awareness nationally. In order to leverage the limited resources of the DEE ILO, it is planned to work closely with the recently established NRC Marketing Office and to continue to work with NRC Public Relations and Information Services and with the IRAP Laboratory and Field Networks. In addition, the ILOs of the various NRC laboratory Divisions continue to work together through an informal network.

As part of its role in identifying industry needs, the ILO is the focal point in the Division for technical enquiries and R&D proposals from industry. The technical depth of these responses to technical enquiries depends on the degree to which they match the expertise and experience of DEE staff. The Division also reviews industrial R&D proposals on behalf of federal funding agencies including NRC/IRAP. Division of Electrical Engineering laboratory staff evaluate the proposals with respect to criteria such as the degree of technical risk and innovation and the suitability of the proposed technical approach. In some cases, reviewers are able to provide constructive criticisms and suggestions regarding more promising technical approaches or other improvements.

In addition to its general role in industry liaison, the Industrial Liaison Office includes two specialized components: the Senior Advisor on Advanced Manufacturing Technologies and Industrial Automation, and the Manager of the NRC Public Security Program. The Office also provides secretariat services to the NRC Associate Committee on Instructional Technology.

Advanced Manufacturing Technologies and Industrial Automation

J. Scrimgeour

CAN-MATE

In 1987 arrangements were completed with the Canadian Manufacturers' Association (CMA) for the establishment of the Canadian Manufacturing Technology Exchange (CAN-MATE). CAN-MATE is a national center operated by the CMA which will help Canadian manufacturers apply advanced technologies to production and processing in all industries, thereby improving their competitiveness in domestic and foreign markets. The CAN-MATE publication, *Technology Source*, is now distributed monthly to approximately 7000 companies.

A financial contribution is provided by NRC for the operation of CAN-MATE. In addition, as noted below, the *CAD/CAM Newsletter* is prepared monthly by NRC for distribution via *Technology Source* and their publicly accessible on-line database, to alert Canadian manufacturers to new developments, events, and information sources in advanced manufacturing technologies.

NRC Associate Committee on Artificial Intelligence

The NRC Associate Committee on Artificial Intelligence (ACAI) was established in April 1987 to act as a focal point and forum in Canada for issues of national concern to the scientific and engineering communities. Secretariat services for the NRC-ACAI are provided by the Division of Electrical Engineering.

The Committee, during 1988, placed considerable emphasis on providing advice to the National Research Council in the development of its application-oriented R&D program in computer technology and artificial intelligence. The NRC program represents a substantial portion of the AI research and development in Canada. The Committee completed a review of the this program, based on an intensive description of the program prepared by NRC personnel and a consultant's report prepared for NRC, and made a number of recommendations to help strengthen the activity.

During 1988–89, the Committee also

- provided advice to policy makers in the federal government concerning new programs for the support of AI research and development
- began publication of a World Watch on developments in AI, selected from published references, in conjunction with the quarterly publication *Canadian Artificial Intelligence*
- completed most of a substantive report on the Social Context of Artificial Intelligence, which will be published in 1989.

International Advanced Robotics Programme

The Division of Electrical Engineering provides Canadian representation and coordination for the Joint Coordinating Forum (JCF) for the International Advanced Robotics Programme (IARP). In June 1988, in Ottawa, Canada hosted a meeting of the JCF countries as well as the first international workshop on advanced robotic applications in medical and health care sponsored by the JCF.

Publications

The CAD/CAM Newsletter, distributed monthly by the Canadian CAD/CAM Council from 1979–1987, continues to be prepared on a monthly basis and is now provided to the CMA's CAN-MATE in manuscript form. Portions are used as a regular feature in *Technology Source*, which has a substantial Canadian distribution. The newsletter content is also entered into the electronic bulletin board which is maintained by CAN-MATE as a publicly accessible on-line data base.

To supplement the retrospective collection of papers by authors from various Divisions working in the field of CAD/CAM and robotics presented in previous reports (NRC 28126, NRC 27454), an additional report has been issued to describe current NRC activities in this field (NRC 29225).

As a contribution to the establishment of international standards in industrial automation by the International Standards Organization (ISO), a glossary of terms in industrial automation is being developed in collaboration with the Division of Mechanical Engineering. One of a pair of reports listing over 8000 terms and definitions currently in the database has been distributed to members of the ISO working group. A second report listing only terms originating from ISO source documents has been prepared for ISO consideration. Plans have been made to develop a joint ISO/IEC Industrial Automation Glossary

in conjunction with the International Electrotechnical Commission (IEC).

Public Security Program

J. Arnold

The Public Security Program is the focal point of law enforcement research carried out by the National Research Council of Canada. The NRC works with the Royal Canadian Mounted Police and the Canadian Association of Police Chiefs to develop, test, and evaluate new products and technology and to transfer research results to Canadian industry. It is working in Canada with industry, the police, and the law enforcement community to develop better, more efficient, and cost-effective equipment and systems.

One objective of the Public Security Program is to coordinate and develop the ongoing research activity in a manner consistent with the priority needs of the security community, as defined primarily by the Operational Research Committee (ORC) of the Canadian Association of Chiefs of Police.

There were many positive steps taken last year in meeting this objective. The Pathfinder project met a major milestone with the successful system launch in August 1988. Ottawa Neighborhood Watch Association supported the Electronic Neighborhood Watch concept. The DNA identification technology was transferred from NRC and the Children's Hospital of Eastern Ontario to the RCMP Central Forensic Laboratory. There were significant sales of the NRC-developed "Lumalite," a lamp that not only finds latent fingerprints but also other naturally fluorescent scene-of-the-crime materials such as blood, semen, and hair.

During the year much effort has been dedicated to a major new objective — to develop and promote the concept of a Canadian Police Research Institute, a nonprofit research facility which will focus the efforts of the police, security, manufacturing, and university communities in the area of public safety and security research.

Several advances were made toward this objective. Work has begun on a business plan which will define the business to potential clients and supporters of the Institute. Contact was made with the Canadian Society of Industrial Security, Canadian University Research Administrators, the Airport Seaport Police International Organization, and several federal government departments. A Fact Sheet was produced to explain the NRC connection to the Canadian police and security communities.

The five-year research and development plan is now in Year 2, "New System in Place." The project team will review the past year and begin to actively put in place the organization(s) that will support the Institute. As well, the team will evaluate methods of identifying police research needs related to equipment and the creation of a product evaluation center. It will further develop a network of police, university, and industrial communities and select a major demonstration project to support the concept of the Institute.

Recent Papers

Published

Egginton, R., and Scrimgeour, J. (Editors). Proceedings of the First International Workshop on Robotic Applications in Medical and Health Care, Ottawa, Ont. June 23–24, 1988. NRC 29117.

Scrimgeour, J. Robotics. The Canadian Encyclopedia, Second Edition. Hurtig Publishers Limited, Edmonton, Alta. 1988. p. 1881.

Scrimgeour, J. Patterns in the economic justification of CIM. Canadian CAD/CAM & Robotics, June 1988, pp. 18–20.

Scrimgeour, J. Computer integrated manufacturing. CSME Bull. Jan.: 4–11; 1989. NRC 29732.

Scrimgeour, J.H.C., and Van den Berg, B. (Editor). CAD/CAM Activities at NRC: 1988. June 1988. 23 pages. NRC 29225.

Presented

Scrimgeour, J. Artificial intelligence in Canada. The Federation of Engineering and Scientific Associations, Toronto, Ont. November 21, 1988.

Laboratory for Biomedical Engineering

Head — O.Z. Roy

Objective

Mandate

- To maintain a center of excellence for the creation, dissemination, and application of biomedical engineering knowledge and techniques in support of life quality and health care, and in collaboration with industry to develop and apply technology which will reduce costs and the need for chronic institutional care.

Strategic Objectives

- To improve the quality of life of physically handicapped, developmentally delayed, and elderly persons through the design, development, evaluation, and application of devices and technology which address problems associated with disability.
- To determine the effects of non-ionizing radiation on the biological system, in order to acquire an understanding of the interactive processes and the biological consequences of such radiation.
- To apply this understanding to the development of health care safety and performance standards and to the development of new therapeutic and diagnostic instrumentation, in cooperation with other Canadian research organizations and industry.

Operational Objectives

- To increase the diagnostic capability and the therapeutic effectiveness of cardiac procedures by developing ultrasound catheter probes capable of distinguishing between atherosclerotic plaque and viable vessel wall.
- To increase the mobility of severely disabled and elderly individuals by developing sensor systems which can be used to augment the control system of electric wheelchairs.
- To improve the healing process of fractured bone by developing new stabilizing systems which will optimize the rate of healing through mechanisms of immobilization which allow for better growth and repair.
- To increase the interaction of the Laboratory with outside clients through the continued development of research, calibration, and prototyping facilities.

Program Description

The Canadian health care system encompasses two major sectors — chronic and acute care. The Laboratory for Biomedical Engineering, which is made up of two sections — the Rehabilitation Technology Unit (RTU) located in Toronto and the Medical Engineering (ME) Section located in Ottawa — addresses concerns in each of the sectors.

The habilitation/rehabilitation program develops, evaluates, and commercializes technology that is critical to the chronic care sector. The program has concentrated on devices which have increased the independence and improved the quality of life of persons with severe disabilities. All of this program's output is realized in products for disabled persons manufactured by small Canadian companies. Although the major portion of the development and application work is concentrated at the RTU, the ME Section contributes a significant portion of its resources to this activity.

In the acute care sector, the effects of non-ionizing radiation activity is focusing its efforts on ultrasound. Next to X-rays, ultrasound radiation is the most widely used form of radiation/illumination in our health care system. In spite of its widespread use, concerns continue to be expressed about its safety. The unit is developing sensitive biological models and measuring techniques with which specific processes, including metabolic processes, can be studied. The models and the experimental procedures are leading to important insights into the interactive mechanisms and to quantification of *in vivo* bioeffects. The models and techniques are being used in collaborative projects with the Ontario Cancer Clinic, Health and Welfare Canada, and Agriculture Canada. The scientific data are being used by standards organizations both nationally and internationally.

The past year has seen some major new initiatives in technology transfer, and in collaborative research and development programs.

Technology Transfer

- A new contoured anterior spinal fixation plate, developed in collaboration with the Ottawa Civic Hospital, has been licensed to Terray Manufacturing Inc. of Arnprior, Ontario. Terray anticipates a large market for the product. The plate greatly improves the viability of patients with severe damage to the front (anterior) side of the spine. The new technology decreases operating time, provides better stabilization, and eliminates the need for multiple procedures.

- The five-wheel unicycle developed by the ME Section has been licensed to Ottawa Mobility Device Manufacturing Co. This company was specifically established to manufacture the mobility aid. The manufacturing facilities will be located in Almonte, Ontario, and will employ 22 people. The device is now called the Romany and should be available in late 1989.

- The hyperthermia cancer treatment technology developed by the Electromagnetic Engineering Section in collaboration with the Ontario Cancer Clinic has been transferred to Canadian Astronautics Limited. The technology will be further developed through a cooperative program between this firm and the Ontario Cancer Clinic.

Collaborative Programs

- The Laboratory has been involved with formulating two Centres of Excellence proposals in response to the request from the Minister of State for Science and Technology. In collaboration with the Laboratory for Intelligent Systems and five university groups, a proposal for a Centre of Excellence for R&D in Advanced Robotics Technology applied to health care was developed. A second proposal in which the laboratory has a major involvement is the Network for Orthopedic Research and Technology (NORTH).

- After six years of intensive work through the NRC Associate Committee on R&D for Disabled Persons, the Laboratory is supporting the founding of the Canadian Rehabilitation Science Institute (CRSI). The Institute will concentrate on the construction of networks of researchers at universities, institutions, and industries, in order to help promote cooperation and sharing of information, encourage the recruitment and career development of rehabilitation personnel, and bring about consensus on solutions to problems common to the many different disability groups.

- The Laboratory, in collaboration with the Molecular Biophysics Section of the Division of Biological Sciences, has developed a measurement capability and expertise which is unique in the world in terms of biological parameters measured and the speed and accuracy of these measurements. This capability has led to collaborative projects with the Ottawa Heart Institute (heart preservation for transplant) and with multinational pharmaceutical companies in cardiac drug studies.

- The beam calibration measuring system, established in 1988 with the help of the Health Protection Branch of Health and Welfare Canada, is being used for the rapid determination of the acoustic power output of medical ultrasound equipment. The calibration facility provides primary measurement services to hospitals, industry, and Health and Welfare Canada.

Future Directions and Priorities

- Develop an ultrasound guidance and tissue characterization system: It is planned to develop, with external partners and with interdivisional participation, an ultrasound guidance system for an Excimer laser angioplasty probe. The probe will be small enough to be able to clear arteries of 1-mm diameter.

- Develop and demonstrate an autonomous home care robot: An increased effort will be made to apply robotic technologies to present day wheelchairs. This work will be based on the generic technologies being generated in our laboratories. An obstacle avoidance and wall following system for a wheelchair is under investigation.

- Establish evaluation and design facilities for implanted orthopedic devices: The emphasis in the coming year will be on improving the Laboratory's facilities and evaluating a new, patent-applied-for, immobilizing device developed by NRC and the Technion Institute of Israel. The device is revolutionary in that it stabilizes a fractured bone in torsion while allowing for limited movement in compression and tension.

- Increase emphasis on technology transfer and revenue generation: The Laboratory is aggressively pursuing a number of initiatives which will enhance its capability in

this area of increasing importance. Though essentially all of the projects in this Laboratory are collaborative, only a few generate revenue and recover costs. To increase the potential for technology transfer and revenue generation the Laboratory is involved with two Centres of Excellence submissions and is developing a proposal, with the Division of Biological Sciences, for the establishment of a new magnetic resonance facility.

Medical Engineering Section

Head — O.Z. Roy

Autonomous Vehicle Development for Health Care Applications

L.W. Korba, P.J. Nelson, N.D. Durie, S. Lang

This is an interlaboratory project involving the Laboratory for Biomedical Engineering and the Laboratory for Intelligent Systems. The project was started in mid-1987 and is being pursued as two distinct but linked activities: the development and testing of detailed specifications for autonomous vehicle applications in the health care field and the development of technical solutions for the generic problems associated with such vehicles.

Safety is the key issue in the development of robotic devices for health care applications. Over the past year, a detailed review of the literature with respect to safety techniques has been performed. This process has underlined the need for specialized sensors, a safety hardware and software control structure, and accurate specification of environmental safety hazards.

Autonomous Vehicle Application Specification

The work in this area deals with the development of specifications for an autonomous vehicle that are in harmony with the requirements of the target population for the robotic health care device. The first step in meeting the requirements of the users and approvers of a proposed robotic device is an assessment of the user population and their environment. A contract (awarded August 1988) with the Elisabeth Bruyère Health Center, Ottawa, Ontario (a long-term care facility for the elderly), is designed to collect environment measurements (room and furniture sizes, traffic flow patterns, etc.) and assess the requirements of the patients through the examination of patient records and direct observation. Data collection has commenced and a report is due in mid-1989. A team of staff and residents has also been assembled to collaborate in the development of specifications for a future health care application of robotics. As the specifications for a robotic device become more detailed, they will be assessed by building a mock-up of the device, videotaping it in simulated performance, then presenting the videotape to the panel of staff and potential users. Through this iterative process, the detailed specifications will be refined.

Spin-off Application Development

The application of robotic technologies to present-day wheelchairs is being pursued. A wheelchair guidance system which uses ultrasonic sensors is under investigation. This guidance system will add features (wall following, obstacle detection and avoidance, etc.) to present-day wheelchairs. Contacts have been made with wheelchair manufacturers as well as with the Hugh MacMillan Medical Centre and the Southwestern Regional Centre (Ontario Ministry of Community and Social Services), with a view to collaboration on these developments.

Sensor Development

A sensor system that can find and track the movements of a human being in a room or corridor must be developed to allow the vehicle to either find or follow a commander and determine situations where care must be taken during navigation. Over the past year, a number of technologies have been evaluated for this purpose. The ones that hold promise include pyroelectric or infrared thermography and Doppler ultrasound and accoustic range finding. Further work on characterizing static and dynamic responses of these technologies is now being pursued.

The Cybermation K2A platform is the major test facility. An ultrasonic ranging sensor system has been developed for the platform. The system consists of 24 polaroid ultrasonic sensors arranged in a radial pattern around the platform. This system uses three transducer control modules from Denning Robotics and a specially developed controller. A Macintosh computer program has been developed to test the ultrasonic subsystem and provide visual feedback as to its performance (see Fig. 1). With this program, preliminary data have been collected from the ultrasonic subsystem using a variety of targets and sensor settings. These data will be used for later sensor integration.

A physical bumper has been attached to provide a stop function for the platform in the event that it touches an object. Unfortunately, due to inertia and the absence of a physical brake, the platform continues to move after contact has been made. The first function of the ultrasonic sensors will be as a long-range

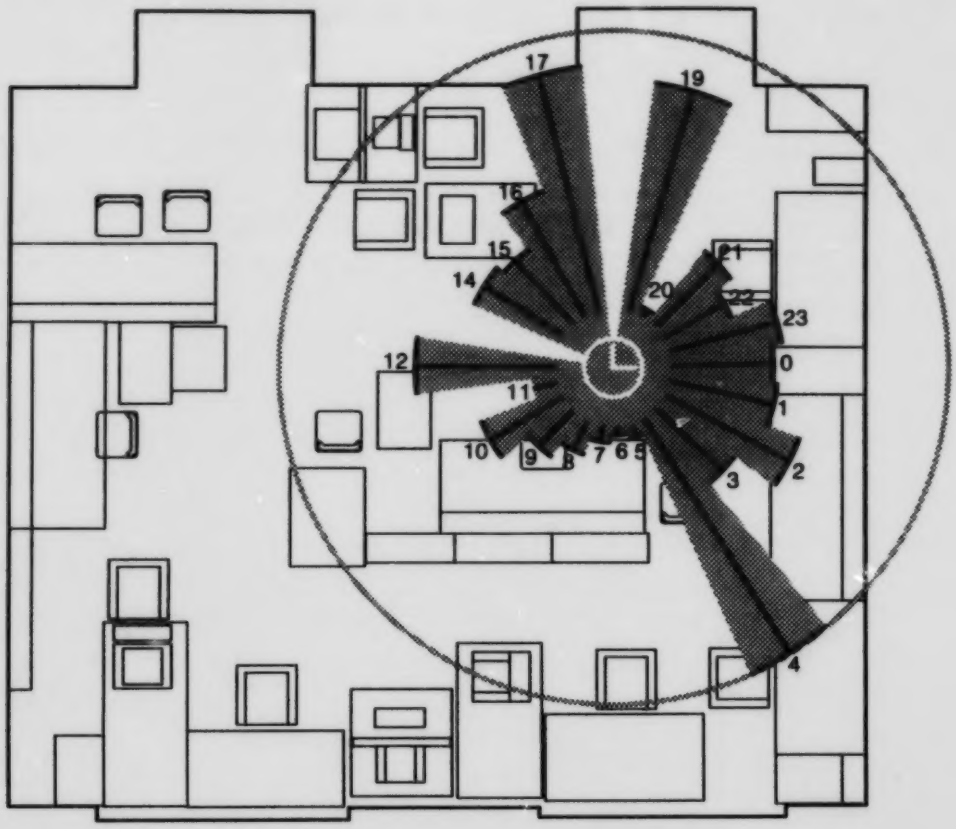


Figure 1. An example of the graphic feedback from the ultrasonic exercising program. A floor plan of the room appears along with a variety of different objects. The circular figure represents the ultrasonic array and the lines emanating from the array represent the distances measured by the sensors.

Sensor #	Range (cm)	Sensor #	Range (cm)
0	121	12	173
1	130	13	Out of range
2	164	14	125
3	112	15	115
4	299	16	157
5	44	17	264
6	38	18	Out of range
7	46	19	253
8	67	20	31
9	83	21	108
10	119	22	90
11	60	23	131

Controller Settings

Mode: (1) Far

Gain Profile: (1) Near Field Rejection

Maximum Depth Read: 3.0 m

Firing Delay: 0

bumper. Currently a software driver for operation under the Harmony Operating System[1] is under development to provide a long-range (maximum 7 m) bumper function. Later, the ultrasonic sensor data will be combined with those from a variety of other sensors to improve system reliability.

[1]Mark reserved for the exclusive use of Her Majesty the Queen in right of Canada by Canadian Patents and Development Ltd.

Related Work

The application of robotics to health care requires special consideration. Safety, sociopolitical aspects, human factors, and technological issues are all important. In an attempt to establish more formal collaboration with

other research groups, an application for a Network of Centres of Excellence in robotics as applied to health care has been initiated. The key players are: École Polytechnique de Montréal, University of New Brunswick, Vancouver General Hospital and Andronic Devices Ltd., and the Hugh MacMillan Medical Centre and the University of Toronto. The application is entitled "A Network of Centres of Excellence for Research and Development in Advanced Robotics Technology Applied to Health Care."

An international inventory of robotic activities in health care has been collected and will be distributed in 1989.

Orthopedics

R.C. Black, E. Kadamani, G.J. Merrett,[1] H.K. Uhthoff,[2] A. Foux,[3] D. Chow,[4] G.W.D. Armstrong,[4] J.P. Murnaghan,[4] J. Wilson,[4] S. Gilbert,[4] S. Harrison,[4] M. Lovas[4]

Spinal Implants

A series of implants is presently being developed which will provide anterior stabilization to the thoracic spine. The system has evolved through several design prototype iterations in collaboration with the Manufacturing Technology Centre (MTC) of the Division of Mechanical Engineering.

CAD/CAM methods have been employed to prepare prototypes for *in vitro* testing. Existing evaluation protocols for bending, torsion, and eccentric compression will be used. In addition a series of tests is planned to assess screw fixation using porcine and cadaveric vertebral specimens.

Fracture Plates

A preliminary series of studies comparing the contact profile for fracture plates has nearly been completed. Biomechanical nondestructive tests have been completed which evaluate the efficacy of experimental fracture plates. This investigation, to determine the role of the implant pattern of bone contact on healing, compares full contact (contoured) with edge contact (railed) designs. A combination of mechanical, vascularization, and histomorphometric studies have been conducted which will form the experimental basis for the analysis. An extension of this research has been initiated to determine the optimal axial flexibility for fracture plates. An experimental plating system (invented in Israel) is under prototype development and verification preparatory to *in vivo* trials.

Shoulder Biomechanics

The shoulder is the most complicated joint in the human body (a complex of five interrelated joints). Objective measures of its motion have not been available in clinics beyond single plane goniometric assessments. In this project 3 and 6 degree of freedom goniometers are being developed.

Extensive control population trials have been conducted with the 3 degree of freedom goniometer to validate its use in clinical studies. In association with the Mathematics Department of the University of Ottawa, software development for graphics displays and supporting algorithms has continued for the 6 degrees of freedom magnetic goniometer. Control studies are planned in the forthcoming year.

Networking

During the past year the NRC major initiative on Affordable Healthcare has been supported. The Assessment Committee of Council has endorsed this initiative which seeks to bring together a consortium of public and private investors to develop technologies which will assist in containing health care costs. In the past year conferences and meetings have been held which have resulted in the formulation of a federal Centre of Excellence proposal and planning for a Foundation to collect funding and support proposals. This Section has provided technical support to the project and represented the NRC laboratory perspective in planning activities.

The Section has also participated in the formulation of a proposal for a Network of Orthopedic Research and Technology for Health (NORTH) which will support the development of a Canadian orthopedic implant industry. The role of NRC will be in preproduction prototyping and testing.

The Effects of Non-Ionizing Radiation

Laser Angioplasty

A.J. Mortimer, J.-F. Nedelec

An interdivisional group has been set up within NRC to address the problem of

---

[1]Division of Mechanical Engineering.

[2]Ottawa General Hospital, Ottawa, Ontario.

[3]Technion — Israel Institute of Technology, Haifa, Israel.

[4]Guest worker.

developing a catheter-based fiber-optic laser angioplasty system to clear blocked coronary arteries. The critical problem in such a system is to be able to remove the plaque from within the vessel while leaving the vessel wall intact. An ultrasound probe has been developed which can differentiate between plaque and vessel wall from within the coronary vessel. The probe uses a single 1.5-mm diameter ultrasound element emitting 20-MHz ultrasound pulses. The signals generated by these pulses are used to produce images of the plaque and vessel wall. Within the past year the system has been demonstrated on animal models and human tissue samples. Work has centered on developing simple methods for automatic differentiation between coronary plaque and vessel wall. A large amount of data has been collected and classification criteria developed. It is expected to integrate the algorithm into the system in mid-1989.

Exploitation of this technology is presently being negotiated with a major medical manufacturer.

Diagnostic Ultrasound

Research and development in diagnostic ultrasound has concentrated on improving the measurement and calibration facilities for medical diagnostic instrumentation, and on studies dealing with the safety of diagnostic ultrasound.

Measurement and Calibration

A state-of-the-art calibration system (Fig. 2), which can measure the ultrasound radiation levels of all diagnostic equipment currently in clinical use, has been installed and made operational. The system uses a multi-element polymer hydrophone and is the only one of its kind in Canada.

The elements have been calibrated against all international standards. The facility is now being used by government, industry, and the medical community for dosimetry measurements.

Ultrasound Safety

The introduction of new higher power diagnostic ultrasound instruments used for pulsed Doppler flow imaging has increased concern regarding the safety of the procedures. The concern is such that clinical ultrasound units have been recalled by one manufacturer to have their outputs reduced. At the request of the radiological community,

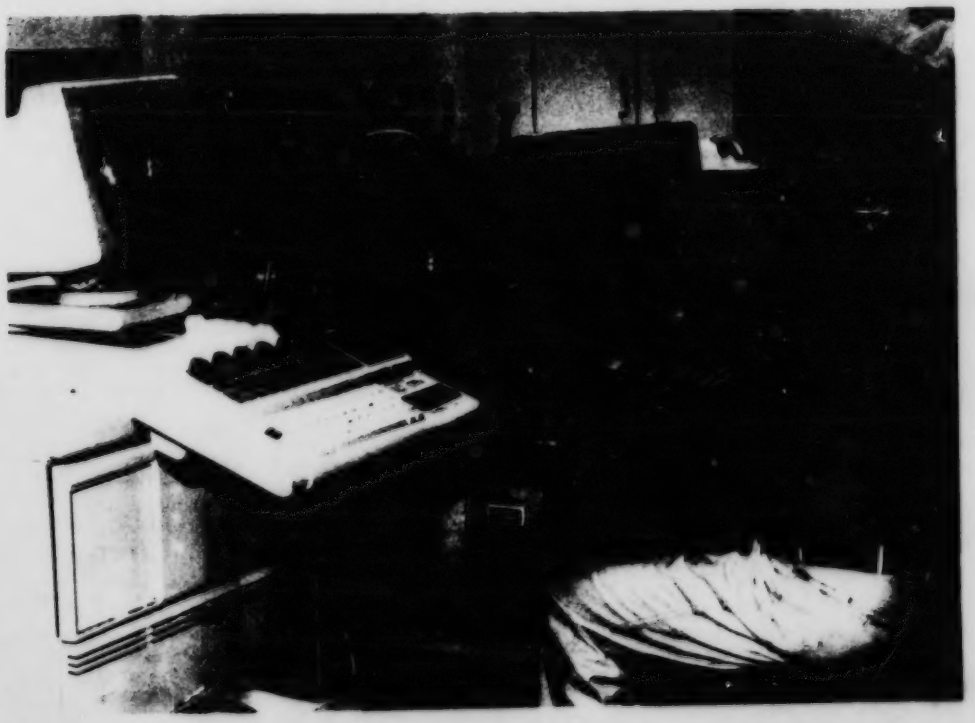


Figure 2. The NRC ultrasound dosimetry system for measurement of diagnostic ultrasound instruments.

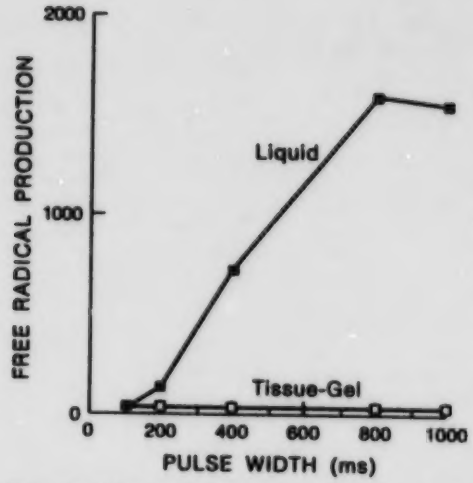


Figure 3. Measurements of acoustically generated free radicals in liquids (■) and gels (□) due to pulsed ultrasound.

theoretical studies of the heating of neonatal brain were performed and models were developed to predict temperature rise within the brain during diagnostic procedures.

Experimental studies of the potential for cavitation in tissue have continued. A tissue mimicing gel containing the terphthalic acid dosimeter developed within this Laboratory has been used to relate previous experimental results to the *in vivo* situation. The results of these studies, shown in Fig. 3, indicate that in most clinical systems acoustic cavitation is unlikely to occur in tissue. However, cavitation in fluids within the body is in fact possible.

Ultrasound Bioeffects

G.V. Forester

The heart has been found to be a sensitive model for the study of bioeffects of ultrasound. Use of magnetic resonance spectroscopy (MRS) to measure the metabolic substrate content of hearts has shown that ultrasound application improves the energy flux in the heart to support the contractile function. The data from these experiments suggested that ultrasound might be used clinically to improve the recovery of hearts being weaned from cardiopulmonary bypass (heart-lung machine).

Experiments were conducted on rat hearts using cold cardioplegia, a solution that is used clinically to arrest and protect the heart during surgery (Fig. 4). As expected, the degree of recovery was inversely proportional to the time of arrest. Cold cardioplegia allowed the hearts to survive for about 45–60 min. Hearts that were reperfused after 60 min did not recover. However, when ultrasound was applied during the first 2 to 3 min of reperfusion the hearts recovered 100% of their contractile function, as indicated by the recovery quotient of 1.

Perfused heart models have also been developed for studies of long-term myocardial preservation. Collaborative studies with the Molecular Biophysics Section of the Division of Biological Sciences are proceeding using MRS to evaluate the metabolic status of hearts during preservation procedures and during the reperfusion of hearts destined for transplantation.

The large pig heart model developed in our Laboratory has been used to evaluate contractile and metabolic function for The Canola Council of Canada, Winnipeg, Manitoba, and Agriculture Canada in conjunction with a major program to encourage the use of canola oil in infant food manufacture.

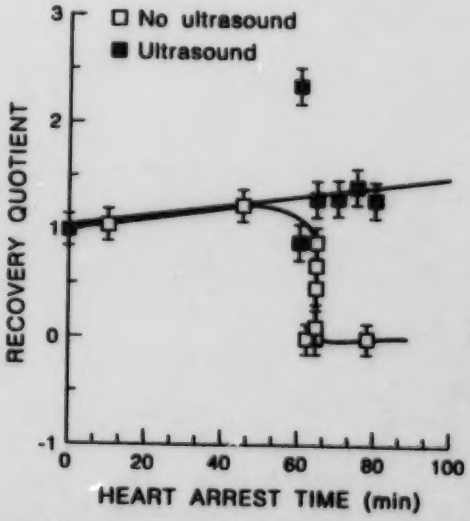


Figure 4. Effects of ultrasound on the recoverability (Recovery Index) of isolated perfused rat heart subjected to cardioplegic arrest at 37°C. After 60 min of arrest the control hearts (□) did not recover compared to the hearts treated with ultrasound (■) during the first 2–3 min of reperfusion.

Discovery Paradigms for Taxonomic Classification of Disease

D. Crabtree, J.W. Brahan, H.T. Mount,[1] M. Niktash,[2] I.S. Pressman[2]

Since 1987, a collaborative team drawn from several departments and institutions has investigated the feasibility of classifying disease through discovery learning. Specifically, the team selected for evaluation methods of conceptual clustering, a current topic of AI research. Conceptual clustering is distinguished from other clustering methods by combining explicit domain knowledge with data. The medical domain chosen for the project is an imperfectly differentiated collection of diseases known as familial retinal degeneration (FRD).

Impetus for the project originated from a requirement to evaluate conceptual clustering for practical application, potentially with a view to applying validated methods to the formal classification of FRD. Formal disease classifications are fundamental to the advancement of medical science and the prospect that this feasibility study would yield clues for identifying a generalized methodology applicable to other imperfect disease classifications and to analogous nonmedical problems provided an additional motive.

During the term of the project the team has developed a semantic network model of medical knowledge in the domain of FRD classification. This model is formed on state concepts that include disease states and a variety of subordinate states that assume either symbolic or numeric value ranges. Directed arcs link values to "higher order" states, each arc possessing a value to represent its weight in the classification process. The team has also developed mathematical models for some of the "state functions" that determine output values given inputs consistent with the directed arcs and "lower order" state values identified in the network model; determined the data requirements for the project; created and refined a database of patient records on familial retinal degeneration; identified "penultimate states" whose values are involved directly in the clustering model developed; selected specific clustering techniques for evaluation; performed classification experiments with the selected technique; and evaluated experimental findings.

[1]Ottawa Civic Hospital, Ottawa, Ontario.
[2]Carleton University, Ottawa, Ontario.

Space Life Sciences

R.C. Black, A.J. Mortimer

For the past six years the Biomedical Engineering Laboratory has cooperated with the Space Division in the area of space life sciences. Canadian investigators are now engaged in neuro-vestibular, calcium and bone metabolism, energy expenditure, embryology, cardiovascular, cerebrovascular, postural change, telemedicine, and protein crystallization research.

The highlight of the past year has been the improved scientific collaboration with the Soviet Union, which will result in two Canadian life science experiments flying on a Soviet satellite in the summer of 1989. Tentative agreement has been reached for two Canadian experiments to be performed on the Soviet space station Mir. Joint working groups with international partners will enhance such collaboration.

Long-range plans include the development of opportunities to participate in the international space station Freedom when facilities are available in the mid-1990's.

Recent Papers

Published

Gilbert, S.G., and Black, R.C. Commercialization of an orthopaedic implant. Proceedings of the 14th Canadian Medical and Biological Engineering Conference, Montreal, P.Q. June 28–30, 1988. pp. 93–94. NRC 30615.

Hranchuk, K.B., Durie, N.D., and Farley, R. Stereotyping in Developmentally Delayed children: Contingent and Non-contingent Movement. NRC/ERB-1014, February 1989. 21 pages. NRC 29418.

Hranchuk, K.B., Charbonneau, J.R., and Ehrenworth, J. An Electronic Device for Communication in Developmentally Delayed Children. NRC/ERB-1015, February 1989. 12 pages. NRC 29417.

Hranchuk, K.B., Ehrenworth, J., and Charbonneau, J.R. Use of Synthesized Speech for Communication in Non-vocal Developmentally Delayed Children. NRC/ERB-1016, February 1989. 5 pages. NRC 29416.

Korba, L.W., and Vasa, J.J. SIMKA — A simple keyboard adapter. Proceedings from the International Conference of the Association for the Advancement of Rehabilitation Technology, Montreal, P.Q. June 25–30, 1988. pp. 366–367. NRC 29481.

Korba, L.W., Liscano, R., Green, D., and Durie, N. Issues concerning the development of a mobile platform for health care applications. Proceedings of SPIE Conference, Mobile Robots III, Cambridge, MA. November 10–11, 1988. pp. 309–313. NRC 29599.

Lang, S.Y.T., and Wong, A.K.C. Graph synthesis for knowledge acquisition in mobile robots. Proceedings of the International Computer Science Conference '88, Hong Kong. December 19–21, 1988. pp. 549–557. NRC 29839.

Mortimer, A.J. Canadian participation in international biosatellite programs. Proceedings of the Workshop on Experimentation in Aircraft and Rockets. Ottawa, Ont. May 5–6, 1988. pp. 39. NRC 29151.

Mortimer, A. The use of sounding rockets in the study of microgravity cell biology. Proceedings of the Workshop on Experimentation in Aircraft and Rockets, Ottawa, Ont. May 5–6, 1988. pp. 91–91. NRC 30616. (Extended abstract.)

Mortimer, A.J., and Dyson, M. The effect of therapeutic ultrasound on calcium uptake in fibroblasts. Ultrasound Med. Biol. 14(6): 499–506; 1988. NRC 29802.

Mortimer, A.J., Trollope, B.J., and Villeneuve, E.J. Acoustic streaming as a mechanism for biological effects of pulsed ultrasound. J. Ultrasound Med. 6: 547–549; 1988. NRC 30617. (Extended abstract.)

Mortimer, A.J., Trollope, B.J., Villeneuve, E.J., and Little, I. Cavitation due to diagnostic pulse trains. J. Ultrasound Med. 6: 541–543; 1988. NRC 30618. (Extended abstract.)

Mortimer, A.J., Trollope, B.J., Villeneuve, E.J., and Roy, O.Z. Ultrasound-enhanced diffusion of oxygen through isolated frog skin. Ultrasonics, 26: 348–351; 1988. NRC 29803.

Presented

Black, R.C., Foux, A., and Uhthoff, H.K. The influence of fracture plates on the directional strength of whole bone. Annual Meeting of the Canadian Orthopaedic Research Society, Ottawa, Ont. June 5–9, 1988.

Korba, L.W. The Laboratory for Biomedical Engineering at the National Research Council of Canada, Department of Electronics, Carleton University, Ottawa, Ont. October 25, 1988.

Korba, L., and Nelson, P.J. Robots in healthcare. Research Department Seminars, Elisabeth Bruyère Health Centre, Ottawa, Ont. January 19, 1989; February 10, 1989.

Mortimer, A. Physical basis for ultrasound therapy. Canadian Physiotherapy Fall Meeting, Montabello, P.Q. September 24, 1988. (Invited.)

Mortimer, A.J. Space life sciences in Canada. American Society for Gravity in Space and Biology. Washington, DC. October 21–23, 1988.

Mortimer, A.J. Recent advances in the study of the biological effects of diagnostic ultrasound. NRC/DEE Science Association, Ottawa, Ont. November 1, 1988.

Mortimer, A.J., Trollope, B., Villeneuve, E., and Little, I. Cavitation due to diagnostic pulse trains. American Institute of Ultrasound in Medicine, Annual Meeting, Washington, DC. October 21, 1988.

Nelson, P.J. New augmentative communication technology. Seminar, Department of Communication Disorders, Royal Ottawa Regional Rehabilitation Centre, Ottawa, Ont. May 11, 1988.

Nelson, P.J. Man–machine communication for disabled persons. Department of Computer Science, Concordia University, Montreal, P.Q. October 21, 1988. (Invited.)

Rehabilitation Technology Unit

Head — J. Batelaan

Production Engineering of Aids for the Handicapped

J. Batelaan, W.G. Bennett, I.P. Clark, A.J.W. Liu

Development work on the DIRECT, described in the *Bulletin*, 3(2), has now progressed to the early manufacturing stage. The first 10 systems are being produced for marketing by TASH Inc. As with all new products, several design and manufacturing problems had to be resolved before and during this technology transfer process. A number of smaller devices were also developed and transferred to TASH; these include two Ability Switches, switch mounting hardware, a controller for an electric bed, and a controller for a dictation machine. One of the more complex and larger sub-projects under development during this period was a communication aid, called the TALK-O. This system will be described in some detail.

TALK-O

TALK-O (Fig. 1) is a microprocessor-based device that assists nonverbal multiply handicapped persons with communication disorder. It was developed to meet requirements identified by teachers and clinicians working in the augmentative communications field.

Those who work on problems of interpersonal communications caused by severe physical or mental disabilities have long sought solutions to the severe handicap of not being able to speak. The handicap is most severe in the case of disabled children because there is a close relationship between a child's communication abilities and his or her overall development. A device that can reproduce the sounds of a person's voice can therefore be a very useful component of what may be a multifaceted prescription for augmentative communications. Electronic speech synthesis in the form of magnetic recording tape loop, analog vocoder, digital text-to-speech synthesis, digital waveform sampling, and digital waveforms have been used. However, the devices produced were either limited in function, difficult to use, or very expensive. The need remained for a digital speech recorder that was rugged, simple to use and maintain, self-contained, and flexible enough for the user to select a phrase.

To address these needs a joint project of the Hugh MacMillan Medical Centre (HMMC) Rehabilitation Engineering Department and Augmentative Communications Service and the University of Toronto Institute of Biomedical Engineering was organized to develop a

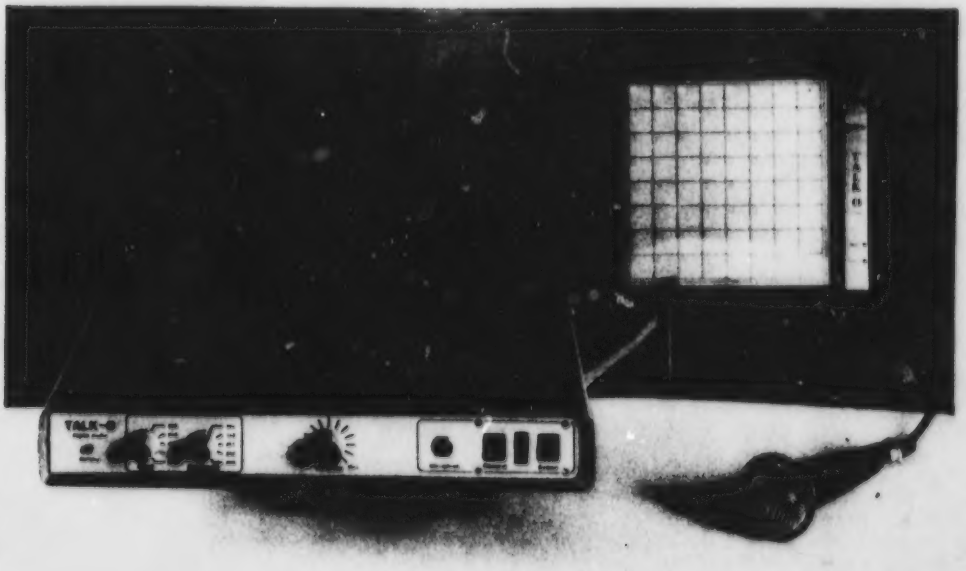


Figure 1. TALK-O communication aid for nonverbal handicapped persons.

microcomputer-controlled digital recorder called the TALK-O. The user interface was developed through interviews and testing with the relatively large number of clinicians, teachers, and children at HMMC. The hardware was built by Rabindra Nauth, a graduate student at the Institute. In its completed form, the prototype TALK-O provided a choice of 64 phrases, selected by either a keypad or an 8 × 8 light scanning array.

Based on this prototype, the requirements of a production TALK-O system were further defined by RTU in consultation with personnel of HMMC. Commutron Ltd. was awarded the contract to develop the electronic components of a pre-production prototype model. Staff of RTU proceeded with design and fabrication of the product packaging. Field testing and evaluation of this model resulted in further refinements. The first production run of TALK-Os was delivered to TASH, Inc. at the end of 1988.

In its commercially available form, TALK-O consists of a control box, external microphone, battery charger, and LED scanning array. Ability switches or a joystick to control the scanner, or any one of several keypad types, are available from TASH, Inc. The unit can hold as many as 128 different phrases of 120 s total duration. It preserves its battery charge by sensing the user's input and it can operate several days without recharging. A wide range of control over such variables as scan speed and response time is easily accessible. Care was taken to build in the locking devices or user feedback that are necessary to avoid apparent malfunctions caused by uninformed adjustment of the unit. The recording procedure is simple enough to be controlled by a five-year-old child.

Standard telephone ADPCM technology is used for the analog-to-digital components. This is available in a highly integrated form, and the quality of sound reproduction is satisfactory for this application. An HD64180 microprocessor and EPROM provide controlling logic, with ½ Mbyte of CMOS static RAM for data storage.

The LED scanning array was particularly challenging to design for the anticipated low volume of production. This is a backlit panel, with provision for customized overlays of pictures to represent the recorded phrases. The panel is the second pressure-formed sheet plastic component that RTU has designed. The pressure forming technique permits sharper definition and greater accuracy, with not substantially greater tooling costs, than what has been achieved by the vacuum forming process. RTU personnel worked with a local plastic fabricator on introducing pressure forming into his shop. A printed circuit board holds high intensity LEDs and all the scanning controls. A metal back plate provides the rigidity that is necessary for mounting on a power wheelchair. Numerical control punching of the sheet metal ensures accuracy, allowing for assembly of the pieces with a minimum of hand fitting.

Recent Papers

Published

Kerr, S.A. Sue's Story. Rehab. Digest, Summer 1988. NRC 29004. *Reprinted in part in* Windows on Technology, 4(6): 7–8; 1988.

Thakkar, A.J., Liu, J.W., and Lie, G.C. Momentum-space properties of N_2. Phys. Rev. A, 36(11): 5111–5117; 1987.

Laboratory for Electromagnetic and Power Engineering

Head (Acting) — M.M.C. Collins

Objective

Mandate

- To provide, through applied research in co-operation with Canadian electrical utilities, manufacturers, and other government departments, standards, testing procedures, and technology in the areas of precision measurements, electromagnetic compatibility, and dielectrics.

Strategic Objectives

- To anticipate and meet the electrical measurement requirements of the Canadian electrical power industry by developing new state-of-the-art measurement techniques and instrumentation and by providing basic knowledge relating to critical issues such as national and international standards for electrical measurements and accelerated aging tests for electrical equipment and materials.

- To improve the understanding of electromagnetic interference/electromagnetic compatibility (EMI/EMC) in order to develop diagnostic instrumentation and calibration and testing facilities and to contribute to the development of national and international EMI/EMC standards.

Operational Objectives

- To improve the precision measurements capability in 1989/90 by increasing bandwidth of the nonsinusoidal calibration facility, extending the frequency range of the power bridge, and adding a distorted waveform capability to the load loss simulator.

- To obtain additional funding support from the Electric Power Research Institute (EPRI) in the United States and Canadian utilities for ongoing fundamental study of breakdown mechanisms in electrical insulation.

- To obtain support from Canadian industry for the continuing study of the effect of ultraviolet stabilizers and dissolved gases on polymeric insulation. This work is now particularly opportune as the number of materials and suppliers is increasing and there is a need to produce specialty polymers for high voltage insulation.

- To advise on the electromagnetic hardening procedures for the New Shipborn Aircraft Project, as part of the commitment to the Department of National Defence (DND).

- To complete the pulse generator for the bounded wave Nuclear Electromagnetic Pulse (NEMP) simulator of the Defence Research Establishment Ottawa (DREO) in 1989/90.

Program Description

Three groups within the Laboratory for Electromagnetic and Power Engineering carry out the program of the unit.

The objective of the precision measurements group is to anticipate and meet the electrical measurement requirements of Canadian industry by developing new and improved measuring techniques and instrumentation. The subject areas under study are power measurements (including distorted waveforms), voltage transfer techniques to improve the accuracy of measuring ac voltages relative to a dc standard, and calibration of various types of hardware such as instrument transformers and electricity meters. A major service is the *in situ* calibration of loss measuring systems used by manufacturers of large power transformers and inductive reactors, using a precise low-power factor load loss simulator developed by the group. A new activity is the measurement of environmental electromagnetic fields in the home, office, and out-of-doors.

The objective of the electrical insulation group is to determine the mechanisms of long-term deterioration of electrical insulation subjected to high electric stresses and, from these fundamental studies, develop standard accelerated aging tests which will be acceptable to and used by industry. The accelerated aging must duplicate real aging phenomena and not introduce mechanisms of aging which do not normally occur under

service conditions. The studies have focused on the aging of polymeric materials used in high voltage cables. Different aging mechanisms occur depending on whether or not the insulation is exposed to moisture in normal operation.

The objective of the electromagnetic interference/electromagnetic compatibility group is to advance the state-of-the-art in the area of EMI/EMC, with special emphasis on pulse measurements relevant to Canadian industry, public safety, and national defence. The EMI/EMC group contributes to national and international EMI/EMC standards and provides appropriate testing and calibration facilities. The main activities of the group are in the areas of EMI measurements, EMI generation, numerical modeling, measuring system calibration, and electronic systems hardening.

Technology Transfer

- Industrial acceptance of the load loss simulator is increasing. Recent calibrations of industrial test measurement systems include ABB Electric (Waukesha, Wisconsin) and Ferranti Packard (Dunkirk, New York, and St. Catharines, Ontario).

- A study was completed for the Canadian Electrical Association (CEA) on the effects of harmonics on power and on apparent power meters.

- Patents were awarded for a current-comparator-based wattmeter for high voltage power measurements at very low power factors, a current-comparator-based load-loss standard for testing and calibrating high voltage power measuring systems, an electronically aided current transformer, and a new ac/dc transfer instrument. The transfer of these technologies to industry is being pursued.

- Calibration facilities for instrument transformers and electricity meters are being extended in bandwidth to meet industrial requirements for the Polar 8 icebreaker.

Collaborative Programs

- The work in EMI/EMC is in collaboration with DND. Two NRC staff members have been seconded to work at DREO. In addition, contacts have been made with respect to electromagnetic pulse (EMP) analysis and testing with Canadian industry and other government departments, e.g., Bell-Northern Research, Oerlikon Canada, Transport Canada, and the Royal Canadian Mounted Police.

- The dielectrics group has a number of collaborative programs with Canadian electrical utilities and with Canadian industry. These programs are aimed at understanding the aging process, developing tests to accelerate aging, and working toward insulation materials which will retard the aging process.

Future Directions and Priorities

As in the past, this Laboratory plans to rely upon its extensive connections with members of the electric power industry, individually and through active participation in technical committees, to ascertain the concerns of the industry and anticipate new requirements.

- In the precision measurements group, the emphasis on the development of improved instrumentation for electrical measurements in a system subject to nonlinear loads will be continued. Effort will also continue to automate measurement procedures, accommodating an increased demand for calibrations from industry and at the same time satisfying more stringent research measurement requirements.

- Accelerated aging and diagnostic tests on insulation materials will continue in cooperation with Canadian utilities and manufacturers. Fundamental studies of the aging mechanism are proceeding, partially supported by the Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ). The NRC, in collaboration with two Canadian utilities, plans to seek further support for additional fundamental studies in this area.

- Currently DND is the principal client of the work in EMI/EMC and the transfer of the EMP protection technology to DND will continue for at least another three years.

Power Engineering Section

Head — W.J.M. Moore

Precision Electrical Measurements

E. So, W.J.M. Moore, R. Arseneau, P.S. Filipski, T.R. McComb

Electricity Metering

Work is continuing on automating the operation of the power bridge and extending its voltage, current, and frequency ranges. Measurements International Limited, Prescott, Ontario, has been given a contract to construct the current comparator and develop a scanner for switching the winding turns.

The new computer-controlled ac calibrator for sinusoidal and distorted voltage, current, and power is being used for the calibration of active/reactive power and energy meters. Work is continuing on extending its voltage, current, and frequency ranges.

Work is continuing on development of a wide-band time-division multiplier (TDM) wattmeter. Applications of new electronic components permit an increase in the carrier frequency of 100 to 500 kHz. This higher carrier frequency lowers the theoretical errors of the wattmeter to 90 ppm at 5 kHz (1500 ppm at 20 kHz). The designed model shows total errors lower than 100 ppm at 1 kHz, with very promising linearity figures. Recent tests have shown that time stability of the wattmeter is in the range of 80 ppm/month. Work is proceeding to reduce this figure.

The overall accuracy and stability of the three-phase calibration system have been improved by incorporating a new controlling computer and new waveform generators. The accuracy of the system is now adequate for both three-phase sinusoidal and non-sinusoidal calibrations of the highest quality revenue meters on the market.

The CEA Contract 043-D-610, a study of the effects of harmonics on energy and VA meters, was completed. The final report was published by the CEA in May 1988. Discussions are underway with the CEA for new research contracts which would be done on the three-phase system.

A new instrument to measure on-site the errors of apparent power meters caused by harmonics has been designed and constructed. This development is a direct result of measurement experience with the three-phase calibration system.

A research project to investigate the behavior of VAR meters under nonsinusoidal conditions has been completed.

Electronically Aided Current Transformer

Work is continuing on extending the capabilities of the electronically aided current transformer to permit the measurement of a dc component in the primary current.

Current-comparator-based Load Loss Standard

The main components of the load standard have been completed and it has been used for *in situ* calibration of loss measuring systems (Fig. 1) at IREQ, NEI-Ferranti Packard Transformers, and ASEA Brown Boveri Electric. Work is continuing on making the load standard more "portable" and user friendly.

25-Bit Multiplying Digital-to-analog Converter

The completed 25-bit multiplying digital-to-analog converter (MDAC) has been incorporated in the microprocessor-controlled current-comparator-based dc voltage calibrator. Software has been developed for interfacing the calibrator with a computer through an IEEE-488 bus. Measurements International Limited, Prescott, Ontario, has been given a contract to construct a prototype of the calibrator.

RMS AC/DC Voltage Comparator

The rms ac/dc voltage comparator has been modified to make use of a new solid state differential thermal converter. The new device replaces the conventional multijunction thermal converter. Test results obtained at NRC's Division of Physics have shown that the modified instrument can be operated at frequencies up to 300 kHz while maintaining an accuracy of about 100 ppm. These results are believed to be the most accurate measurements at the higher frequencies achieved by rms-dc transfer instruments.

Preliminary design work to extend the frequency of the instrument to 1 MHz has started. The need for operations at these higher frequencies has been identified during discussions with potential users.

Figure 1. In situ calibration of a transformation loss measuring system.

Measurements of Electromagnetic Fields at Power Frequencies

A research project has been initiated to develop expertise in measurement of low-level electromagnetic fields at power frequencies. This project is a direct result of requests from outside organizations.

An electromagnetic field meter has been designed and built. The new meter is based on three detection coils mounted at right angles to each other. A tri-axis measurement is performed which is independent of the orientation of the detection coils.

Measurement programs have been started for two clients whose premises are located near transmission line rights of way. A proposal for a research contract to characterize the magnetic field environments in the Ottawa area has been submitted to the CEA.

Impulse Measurements

The National Research Council has continued its strong contribution in this area by providing leadership of two Task Forces of the International Conference on Large Electric Systems (CIGRE). The CIGRE Task Force on Response Parameters is now preparing its formal report and the CIGRE Task Force on comparative measurements is continuing its work. A range of transfer systems have been investigated and work has been initiated in several more laboratories. The NRC will be participating in raising the standard of impulse measurements in Third World countries under the auspices of the Canadian International Development Agency.

The cooperative project involving IREQ, Ontario Hydro Research, and NRC is continuing. The most recent results will form a major part of a full-day panel session at the IEEE Power Engineering Society Meeting in Long Beach, California, in July.

The revision of International Electrotechnical Commission (IEC) Publication 60, *High Voltage Test Techniques* continues, with NRC participation in WG 7, Revision of IEC Publication 60-3 and 60-4, and WG 8, Digital Recorders. Considerable laboratory work has been performed on identifying suitable tests which will demonstrate the linearity of high voltage impulse measuring systems. The IEC draft standard on digital recorders has been revised.

The leading role NRC has taken in the area of HV Measurements and Standards was recognized by the appointment of T.R. McComb to the Secretariat of Technical Committee 42 of the IEC.

Contributions continue to be made to the IEEE Committee on Digital Techniques in Electrical Measurements (a Subcommittee of the

Power System Instrumentation and Measurement Committee) and to the IEEE Committee on Waveform Measurement and Analysis.

In response to requests from industry, advice has been provided on reducing electromagnetic interference in a variety of prototype systems, on lightning protection, and on pulsed power systems.

The NRC is participating in a CEA project to measure lightning ground flash densities in Canada.

Calibrations

Thirty-five test and calibration reports were issued by the group in 1988.

Electrical Insulation

R.J. Densley, A. Bulinski, S.S. Bamji

For the past several years, the work of the electrical insulation group has concentrated on the study of aging phenomena in high voltage polymeric cable insulation operating in either a wet or dry environment.

Insulation Operating in a Wet Environment

The major thrust of the work is devoted to fundamental studies of the mechanisms of water treeing, a form of aging in polymers subjected to high electric stresses and moisture. This type of aging has been responsible for premature failures in distribution class high voltage cables. Previous studies have shown that test parameters such as voltage, frequency, temperature, and ionic contaminants in the water have complex interactions with one another. As a result, although test conditions can be chosen which accelerate the process, aging varies nonlinearly with some of these parameters so that it has not yet been possible to develop a test which can accurately predict cable life. The situation is further complicated by the effect of contaminants in the materials themselves as well as the material morphology. Some of these effects have been examined in detail.

Outside organizations such as IREQ, Union Carbide Canada, CIL, and the Furukawa Cable Company of Japan have actively participated in various aspects of the studies.

The role of oxidation in water treeing is being studied under a joint project with IREQ. Water tree initiation and growth measurements in heavily oxidized polyethylene have been completed. Contrary to expectations, tree growth was much slower in the oxidized polymer. Although the oxidized polymer exhibited a lower breakdown strength and a higher dissipation factor than non-oxidized insulation before aging, these properties remained almost constant after aging in a salt solution for more than 1000 h at 6 kV/mm.

However, the decrease in breakdown strength and increase in dielectric loss of the non-oxidized polymer after similar aging showed it to be inferior to the oxidized polymer. The results indicate that oxidized particles of polymer, commonly referred to as gel particles, do not have an adverse effect on water treeing, providing they are well bonded to the healthy polymer. Tests are underway to grow trees in polyethylene with intermediate levels of oxidation, representing conditions of a real cable after several years in service.

Accelerated aging tests using miniature cables are an important link between tests on laboratory molded specimens and full-sized cables. However, it is essential to optimize the test conditions to minimize the aging time while ensuring that the degradation is the same as that occurring in the real world. A series of tests nearing completion, and supported by Union Carbide Canada, has confirmed previous studies which showed that aging at room temperature is more severe than cycling the temperature at voltage frequencies of 60 Hz and 1 kHz. The results show that aging tests on miniature cables can be reduced in cost by performing the tests at room temperature. However, further work is necessary to explain differences in the effects of temperature on miniature and full-sized cables.

A novel test technique to monitor water tree growth in polymers has been developed in conjunction with the Laboratory for Microstructural Sciences of the Division of Physics. The technique uses back-scattered electron imaging to detect contaminants within the water trees. It has sufficient sensitivity to allow measurement of the distribution of contaminants within a water tree. Typical micrographs of images produced by back-scattered and secondary electrons are shown in Fig. 2. More detailed studies are planned to determine the effect of stress, frequency, and time on the distribution of the contaminants and to verify whether the techniques can be used to locate trees in opaque materials.

The actual mechanism by which a water tree initiates the electrical breakdown of insulation has received little attention. The water tree

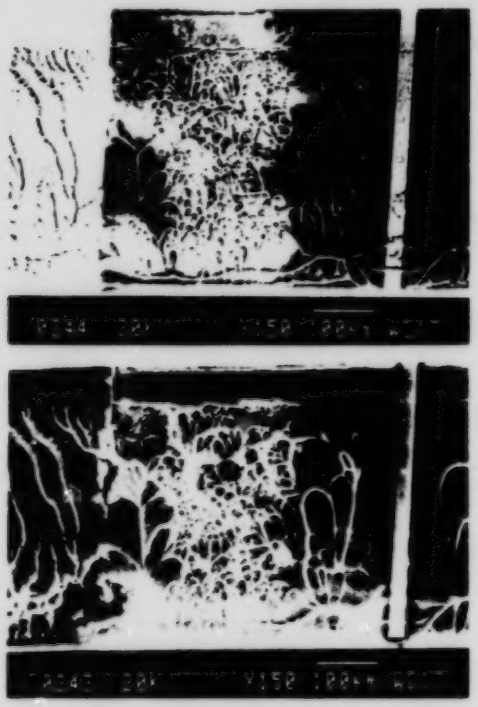


Figure 2. (a) Backscattered electron image of water trees growing from $CuSO_4$ particles in XLPE. (b) Secondary electron image of (a). Note—no visible water tree.

after some time converts into an electrical tree which grows until it bridges the insulation to complete the failure. A detailed study of the transition from a water tree to an electrical tree has begun in conjunction with IREQ and supported by the CEA. A technique has been developed to detect the light emitted from partial discharges within an electrical tree and to quickly interrupt the high voltage to the specimen. This will allow us to measure the changes in the polymer at the instant of initiation of the electrical tree.

The Laboratory is also participating in a CIGRE round robin test on water treeing. The objective is to develop a technique to evaluate the resistance of different insulating materials to water trees.

An engineer from the Furukawa Cable Company in Japan is spending a year at NRC. He is measuring the degradation in field-aged cables due to oxidation and water trees and comparing this degradation with that produced by aging in the laboratory.

Insulation Operating in a Dry Environment

The mechanism of electrical tree initiation in high voltage cable insulation subjected to ac, dc, and half-rectified ac voltages was studied by a photodetection technique developed in this Laboratory. It was shown that photodegradation of the polymeric insulation by ultraviolet light can occur when the voltage applied to the polymer exceeds the threshold voltage of light inception. Comparing the light emitted from the polymer subjected to ac voltage having half-cycles of different amplitudes to dc superimposed on ac showed that the space charge injected into the polymer causes the local field to decrease to zero and then reverse polarity. This zero-crossing of the local field and not the peak-to-peak value or the polarity reversal of the applied voltage is important for light emission and subsequent degradation of the polymer.

A study, supported by CIL, Brampton, Ontario, to evaluate the various additives that can retard treeing in high voltage insulation by using the light detection technique has begun.

The first part of the round robin tests on the inception voltage of electrical treeing in polyethylene has been completed for CIGRE. The data obtained from the different laboratories all over the world will be analyzed and evaluated and these results will be used to design and perform long-term aging tests.

Electromagnetic Interference/ Electromagnetic Compatibility

A.S. Podgorski, S. Kashyap, M. Kekez, J. LoVetri, J. Seregelyi

Electromagnetic Pulse Measurements

Work is continuing on the development of very fast pulse measuring systems. During the last year the response time of the coaxial measuring systems has been decreased to 80 ps. The implementation of a data processing package into the new 80-ps measuring system will make it possible to study ultrafast electrostatic discharge phenomena.

The automation of the EM field calibration facility has been completed. The use of the automated calibration facility will improve the accuracy of pulse measurements by an order of magnitude

In cooperation with a private company work is continuing on the development of fiber-optic measuring systems.

Electromagnetic Pulse Simulation

The overall objective of the project is to develop a facility that can be used by Canadian industry for verification of EM protection with

a special emphasis on transient and pulse protection. A new coaxial 600-kV 3-ns Marx generator was built and tested. Presently work is continuing on the development of high voltage nanosecond magnetic insulation and peaking capacitor switches.

To increase our knowledge about generation of subnanosecond pulses a 30-kV 150-ps pulse generator was developed and tested. It is expected that this work will contribute to the development of faster generators.

Electromagnetic Interaction

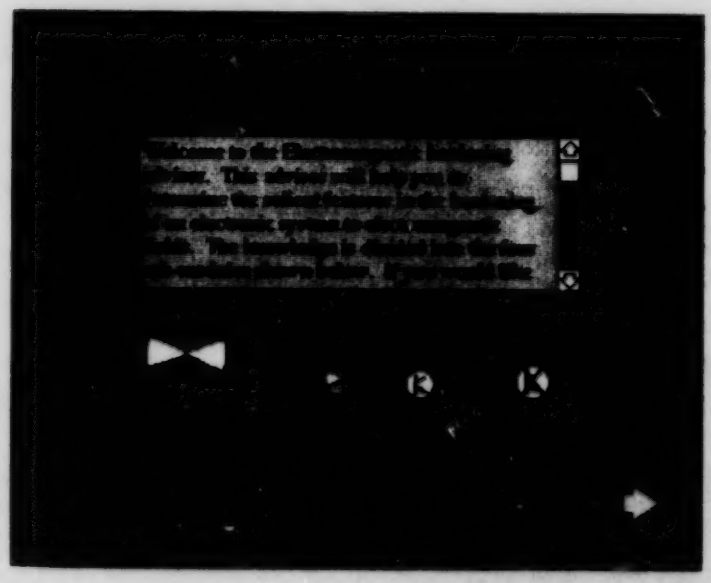
The objective of this project is to assist industry and other government departments in the development of a theoretical basis for designing protection against the effects of EM interference.

Numerical methods for analysis of EM problems such as lightning and nuclear EMP are being developed. A cooperative project with Bell-Northern Research is underway to study protection against lightning of electronic and electrical system in tall buildings.

A simple expert system (see Fig. 3) was developed for hardening of electronic equipment against different EM threats. The newly developed expert system has been used for protection of helicopters against EM interference.

Figure 3. Expert system for EM hardening.

A numerical and analytical investigation of nonlinear problems such as gap discharges and propagation in nonlinear media is in progress.



EMP Interaction Modeling and Measurement

An extensive capability in modeling interaction of EMP with simple and complicated structures (such as an aircraft) is being developed. Various codes in both time and frequency domains are being acquired, exercised, and modified to fulfill the needs of DND. New codes are being developed to fill in the gaps.

A 1-m 100-kV EMP simulator is being used to develop EMP hardening methodology for computer-terminal-sized equipment. Work to date includes characterization of the pulse generator, the digitizers, the electromagnetic field sensors, the fiber-optic link, and the measurement of fields inside and around the simulator. Measurements are being made to confirm the modeling results for simple structures.

Recent Papers

Published

Arseneau, R., and Filipski, P. Application of a three phase nonsinusoidal calibration system for testing energy and demand meters under simulated field conditions. IEEE Trans. Power Delivery, PWRD-3(3): 874–879; 1988. NRC 28361. *Summarized in* IEEE Power Eng. Rev. PER-8(7): 29; 1988. NRC 28100.

Arseneau, R., and Filipski, P. Optimum metering system for loads with high harmonic distortion. Report for the Canadian Electrical Association, CEA Project 043-D-610, May 1988. 43 pages. NRC 29804.

Bamji, S.S., Bulinski, A.T., and Densley, R.J. Light emission and subsequent tree inception due to polarity reversal of the local field in polymeric insulation. 1988 Annual Report of the Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Ottawa, Ont. October 16–20, 1988. pp. 173–179. NRC 29700.

Bamji, S.S., Bulinski, A.T., and Densley, R.J. Threshold voltage of luminescence and electrical tree inception in low-density polyethylene. J. Appl. Phys. 63(12): 5841–5845; 1988. NRC 28733.

Bamji, S., Bulinski, A.T., and Densley, R.J. Degradation of polymeric insulation due to photoemission caused by high electric fields. IEEE Trans. Electr. Insul. 24(1): 91–98; 1989. NRC 30086.

Bamji, S., Bulinski, A., and Densley, J. The effect of photostabilizers on polymeric insulation used at high voltages. Makromol. Chem., Macromol. Symp. 25: 271–280; 1989. NRC 30303.

Bulinski, A.T., Bamji, S.S., and Densley, R.J. Factors affecting the transition from a water tree to an electrical tree. Conference Record of the 1988 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Boston, MA. June 5–8, 1988. pp. 327–330. NRC 29727.

Bulinski, A.T., Bamji, S.S., and Densley, R.J. Factors affecting oxidative induction time measurements of XLPE high voltage cable insulation. 17th NATAS Conference, Lake Buena Vista, FL. October 9–12, 1988. NRC 29701.

Bulinski, A., Bamji, S., Timbrell, P., and Densley, J. Wavelength and energy dispersive X-ray studies of contaminants in water treed insulation. 1988 Annual Report of the Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Ottawa, Ont. October 16–20, 1988. pp. 78–85. NRC 29698.

Crine, J.-P., Haridoss, S., Cole, K.C., Bulinski, A.T., Densley, R.J., and Bamji, S.S. Oxidation and thermal resistance of HMW-PE and XLPE H.V. cables. Conference Record of the 1988 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Boston, MA. June 5–8, 1988. pp. 219–224. NRC 29728.

Filipski, P.S. Discussion on "Power Components in a System with Sinusoidal and Nonsinusoidal Voltage and/or Currents" by J.D. Van Wyk and M.A. Slonim. IEE Proc. Pt. B, 136(2): 90; 1989. NRC 30215.

Filipski, P.S., and Arseneau, R. Definition and measurement of apparent power under distorted waveform conditions. Proceedings of the International Conference on Harmonics in Power Systems ICHPS III, Nashville, TN. September 28 – October 1, 1988. pp. 127–131. NRC 29596.

Haridoss, S., Crine, J.-P., Bulinski, A., Densley, J., Bamji, S., and Bernstein, B.S. Oxidation in watertrees grown in field-aged cables. Proceedings of the Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Ottawa, Ont. October 16–20, 1988. NRC 29699.

Kashyap, S., and Mishra, S.R. Improvement in antenna factor measurements using time-domain gating. Proceedings of the 1988 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Seattle, WA. August 2–4, 1988. pp. 82–86. NRC 28825.

Kekez, M.M., and Savic, P. Two-dimensional extension of the flame theory of leader development. 9th International Conference on Gas Discharges and Applications, Venice, Italy. September 19–23, 1988. pp. 415–420. NRC 30681.

Kuffel, J., Malewski, R., McComb, T., and van Heeswijk, R.G. On-line digital instrumentation for high-voltage testing. Proceedings of the Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Vancouver, B.C. November 3–4, 1988. pp. 34–38. NRC 30609.

Lau, J.H., Kekez, M.M., Lougheed, G.D., and Gupta, R.P. Submillimeter high brightness pulsed X-ray source. Appl. Phys. Lett. 52(25): 2111–2113; 1988.

Lougheed, G.D., Kekez, M.M., Lau, J.H.W., and Gupta, R.P. Solenoid gas puff imploding liner X-ray source. J. Appl. Phys. 65(3): 978–992; 1989.

LoVetri, J., and Abu-Hakima, S. Applying expert system techniques to the electromagnetic hardening domain. Proceedings of the Technical Liaison Group on Electromagnetic Hardening Problems, Ottawa, Ont. September 27–29, 1988. NRC 30050.

LoVetri, J., and Hamid, M. Coulomb wave functions in the theory of the circular paraboloidal waveguide. Can. J. Phys. 66(3): 212–227; 1988.

McComb, T.R. Discussion on "Distortion-free measurement of high impulse voltages" by K. Feser, W. Pfaff, G. Weyreter, and E. Gockenbach. IEEE Trans. Power Delivery, PWRD-3(3): 863–864; 1987. NRC 30610.

McComb, T.R., Hughes, R.C., Lightfoot, H.A. Schon, K., Schulte, R., McKnight, R., and Zhang, Y.X. International comparison of HV impulse measuring systems. IEEE Trans. Power Delivery, PWRD-4(2): 906–915; 1988. NRC 29610. *Summarized in* IEEE Power Eng. Rev. PER-9(4): 49; 1989. NRC 30682.

McComb, T.R., Kuffel, J., and leRoux, B.C. A comparative evaluation of some practical algorithms used in the equivalent bits tests of waveform recorders. IEEE Trans. Instrum. Meas. IM-38(1): 37–42; 1989. NRC 30683. *Summarized in* Digest of the Instrumentation and Measurement Technology Conference, San Diego, CA. April 1988. pp. 216–217. NRC 30612.

Miljanic, P.N. Calibrator for alternating voltage, current, and power. IEEE Trans. Instrum. Meas. IM-38(2): 384–389; 1989. NRC 29958.

Mishra, S.R., and Kashyap, S. Effect of ground plane and chamber walls on antenna input impedance. Proceedings of the 1988 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Seattle, WA. August 2–4, 1988. pp. 395–399. NRC 30611.

Moore, W.J.M., So., E., Oldham, N.M., Miljanic, P.N., and Bergeest, R. An international comparison of power meter calibrations conducted in 1987. IEEE Trans. Instrum. Meas. IM-38(2): 395–401; 1989. NRC 29595. *Summarized in* Digest of the Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM '88 - IEEE), Tsukuba, Japan. June 7–10, 1988. pp. 341–342. NRC 30613.

Podgorski, A.S. A case for a unified lightning threat. Proceedings of International Aerospace and Ground Conference on Lightning and Static Electricity, Oklahoma City, OK. April 19–22, 1988. pp. 118–122. NRC 28981.

Podgorski, A.S., and Podgorski, E.M. Lightning standards for protection of ground electronic systems. Proceedings of International Aerospace

and Ground Conference on Lightning and Static Electricity, Oklahoma City, OK. April 19–22, 1988. pp. 324–327. NRC 28982.

So, E. A current-comparator-based load loss standard for in-situ calibration of transformer loss measuring systems. IEEE Trans. Power Delivery, PWRD-3(4): 1363–1368; 1988. NRC 30684.~ *Summarized in* IEEE Power Eng. Rev. PER-8(10): 36–37; 1988. NRC 28968.

So, E., and Train, D. In-situ calibration of three different types of transformer loss measuring systems using a current-comparator-based load loss standard. IEEE Trans. Power Delivery, PWRD-3(4): 1396–1402; 1988. NRC 30685. *Summarized in* IEEE Power Eng. Rev. PER-8(10): 40; 1988. NRC 28969.

Presented

Arseneau, R. Comparison of VAR-meters under simulated field conditions. Panel discussion, "Reactive Power in Nonsinusoidal Situations, Definitions and Physical Meaning." IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, New York, NY. January 29 – February 3, 1989.

Arseneau, R., and Filipski, P.S. Summary of results — optimum metering systems for loads with high harmonic distortion (CEA # 043 D610). Canadian Electrical Association, Metering Section, Engineering and Operating Division, Quebec, P.Q. October 1988.

Bamji, S.S., Bulinski, A.T., and Densley, R.J. The effect of inert gas-impregnation on the degradation of polymeric insulation. Corona Research Group (Cage Club), University of Toronto, Toronto, Ont. May 12–13, 1988.

Bulinski, A.T., Bamji, S.S., and Densley, R.J. Transition from a water tree to an electrical tree. The final stage of cable failure. Corona Research Group (Cage Club), University of Toronto, Toronto, Ont. May 12–13, 1988.

Dion, M., and Kashyap, S. Analysis of EMP measurement system performance. NEM 1988, San Francisco, CA. May 16–20, 1988.

Dion, M., and Kashyap, S. EMP transient signal processing. CRAD Signal Processing Symposium. Defence Research Establishment Valcartier, Valcartier, P.Q. June 15–17, 1988.

Filipski, P. The effect of harmonics on the performance of metering instrumentation. *Panel discussion*, "High Voltage Power Measurements," IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, New York, NY. January 29 – February 3, 1989.

Filipski, P. Reactive power and apparent power definitions. *Panel discussion*, "Reactive Power in Systems with Nonsinusoidal Waveforms," 1989 Power Engineering Society Winter Meeting, New York, NY. January 29 – February 3, 1989.

Kashyap, S. Nuclear electromagnetic pulse (NEMP). Broadband EMI/EMC Seminar, Nepean, Ont. March 29, 1989.

Kashyap, S., and Mishra, S. R. Use of modern network analyzers in making simulated EMP measurements. NEM 1988, San Francisco, CA. May 16–20, 1988.

Kekez, M.M., and Savic, P. Criteria for breakdown in gases. Corona Research Group (Cage Club), University of Toronto, Toronto, Ont. May 12–13, 1988.

Kekez, M.M., and Savic, P. Fluid dynamics of breakdown phenomena. 8th Canadian Symposium on Fluid Dynamics, Ottawa, Ont. June 6–8, 1988. (Invited.)

LoVetri, J. HardSys: Applying expert system techniques to EM hardening. Broadband EMI/EMC Seminar, Nepean, Ont. March 29, 1989.

McComb, T.R. International comparison of HV impulse measuring systems. Corona Research Group (Cage Club), University of Toronto, Toronto, Ont. May 12–13, 1988.

McComb, T.R. Current directions of the International Electrotechnical Commission's work on high voltage test techniques. Seminar, Electrosystems Division, National Bureau of Standards, Washington, DC. June 22, 1988. (Invited.)

McComb, T.R. Electra paper on measurements of fast transient voltages. CIGRE WG 33.03, Stintino, Sardinia, Italy. September 1988.

McComb, T.R. Report of the task force on response parameters — Progress in 1987–88. CIGRE WG 33.03, Stintino, Sardinia, Italy. September 1988.

McComb, T.R. Recent advances in the standardization of high voltage test techniques. Seminar, Department of Electrical Engineering, University of Waterloo, Waterloo, Ont. November 25, 1988. (Invited.)

McComb, T.R., and Malewski, R. Safety requirements in HV laboratories. CIGRE WG 33.03, Stintino, Sardinia, Italy. September 1988.

McComb, T.R., Hughes, R. C., Lightfoot, H.A., Schon, K., Schulter, R., McKnight, R., and Zhang, Y.S. International comparison of HV impulse measuring systems. CIGRE WG 33.03, Stintino, Sardinia, Italy. September 1988.

McComb, T. R., Kuffel, J., and leRoux, B.C. Evaluation of some practical algorithms used in the effective bits test of waveform recorders. CIGRE WG 33.03, Stintino, Sardinia, Italy. September 1988.

Mishra, S.R., and Kashyap, S. Adaptation of antenna and EM field measurement facilities for EMC measurement and analysis. 11th ESTEC Antenna Workshop on Antenna Measurements, Gothenburg, Sweden. June 20–22, 1988.

Moore, W.J.M. The current comparator and its application in precision measurements. Wuhan High Voltage Research Institute, Wuhan, Hubei Province, People's Republic of China. October 12–14, 1988. (Invited.)

Moore, W.J.M. The current comparator and its application in precision measurements. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei Province, People's Republic of China. October 15–19, 1988. (Invited.)

Moore, W.J.M., and So, E. Active-reactive power measurements. Symposium, Electric Power Research Institute and National Institute of Metrology, Beijing, People's Republic of China. October 6, 1988. (Invited.)

Podgorski, A.S. Lightning threat and the composite electromagnetic protection plan. Broadband EMI/EMC Seminar, Nepean, Ont. March 29, 1989.

Podgorski, A.S., Kekez, M.M., LoVetri, J., Dunn, J.G., and Gibson, G.A. The implantation of the composite electromagnetic threat protection program and DOD Std 2169. 3rd TLG-3 Symposium EMP Effects, Ottawa, Ont. September 27–29, 1988.

So, E. NRC, DEE, and PE Section. Research and Development Center for Calibration, Instrumentation and Metrology, Jakarta, Indonesia. July 22, 1988.

So, E. The application of the current comparator in instrumentation for high voltage power measurements at very low power factors. Wuhan High Voltage Research Institute, Wuhan, Hubei Province, People's Republic of China. October 12–14, 1988. (Invited.)

So, E. The application of the current comparator in instrumentation for high voltage power measurements at very low power factors. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei Province, People's Republic of China. October 15–19, 1988. (Invited.)

So, E. On-site testing/calibration of high-voltage loss measuring systems. Panel discussion, "High Voltage Power Measurements." IEEE Power Engineering Society, Winter Meeting, New York, NY. January 29 – February 3, 1989.

Patents

Arseneau, R., and Zelle, J.J. RMS measuring apparatus for ac/dc voltages. U.S. Patent No. 4,786,859. Issued November 22, 1988.

Gupta, R.P., Kekez, M.M., Lau, J.H., and Longheed, G.D. Multiple vacuum arc derived plasma pinch X-ray source. U.S. Patent No. 4,751,723. Issued June 14, 1988.

Gupta, R.P., Kekez, M.M., Lau, J.H., and Longheed, G.D. Gas discharge derived annular plasma pinch X-ray source. U.S. Patent No. 4,752,946. Issued June 21, 1988.

So, E. Replica circuit. U.S. Patent 4,554,513. Issued November 19, 1985. Can. Patent 1,235,748. Issued April 26, 1988.

So, E. Loadloss standard for testing and calibrating high voltage power measuring systems. U.S. Patent No. 4,795,969. Issued January 3, 1989.

So, E., and Moore, W.J.M. Digital-to-analog converter. Canadian Patent No. 1,242,800. Issued October 4, 1988.

Laboratory for Intelligent Systems

Head — M.M.C. Collins

Objectives

Mandate

- To provide, through applied research and collaboration with Canadian industry and universities, intelligent systems technology which will make Canadian industry more competitive in the emerging fields of sensor-based robotics and knowledge-based systems.

Strategic Objectives

- To develop and demonstrate computing and sensor technologies that will provide a foundation for building autonomous systems.
- To acquire and develop computer-based technology for the creation of advanced information systems that provide for the representation, acquisition, and processing of knowledge.
- To encourage industrial exploitation of advanced computer technologies by creating, stimulating, and promoting opportunities for their application.

Operational Objectives

- To establish a national laboratory capability in the field of applied artificial intelligence through the successful completion of projects that are technically challenging and commercially exploitable.
- To develop and demonstrate by 1990/91, in cooperation with SystemOID Inc. and the University of Leeds, United Kingdom, a prototype of the Intelligent Advisor system.
- To complete in 1989, in cooperation with MBP Technologies Inc. and Noranda Ltd., the PRECARN feasibility study on an advanced realtime expert system for process control.
- To enhance the commercial viability of the Harmony Operating System[1] through implementation of a "thin-wire" version and through porting to the Motorola 88000 series microprocessor and to transfer responsibility for commercial exploitation of Harmony to one of the existing licencees before the end of 1989.
- To continue development of three-dimensional (3-D) measuring techniques and algorithms for 3-D image interpretation. To complete a refined version of the BIRIS sensor, of compact construction and using a commercial processor, for commercial exploitation by the end of 1989/90.
- To develop an intelligent mobile platform for health care applications in cooperation with the Laboratory for Biomedical Engineering. During 1989/90 local obstacle avoidance capability — an essential component of autonomous navigation — will be demonstrated.
- To pursue exploratory work in nonlinear materials to be used in integrated optics, optical processing, and optical sensors. To make available by the end of 1989/90 the new electric field sensor being developed in cooperation with the University of Ottawa and Canadian Marconi Company.
- To define a working relationship with the Space Division and the industrial community under the Strategic Technologies for Automation and Robotics (STEAR) program.

[1] Mark reserved for the exclusive use of Her Majesty the Queen in right of Canada by Canadian Patents and Development Ltd.

Program Description

The Laboratory for Intelligent Systems is made up of three sections in Ottawa, Computing Technology, Information Technology, and Photonics and Sensors, and a fourth section, Robotics and Automation, in Winnipeg. The latter is part of the Canadian Institute of Industrial Technology (CIIT). The Laboratory undertakes applied research which is contributing to the effective exploitation of advanced computer-based technologies.

Advanced automation technology requires machines which are able to adapt their behavior in response to a changing environment and to changing task demands. Technical

advances are required in perception (or sensors), decision, and control. Each of these areas is being actively investigated. The component technologies will be integrated into intelligent functioning systems through the techniques of applied artificial intelligence.

Work on sensor development is being pursued in the Photonics and Sensors Section where the effort is concentrated on 3-D machine vision and guided wave optics. Applications of the patented 3-D vision techniques are being pursued jointly with industry and other partners. A very-high-speed 3-D sensor is being designed and eye-safe lasers and related components are being developed. Effort is being placed on 3-D image segmentation and representation aiming at a 3-D machine vision system that will not only acquire the image data but also analyze the scene. Work is being pursued on guided wave optical sensors and on optical signal/image processing with elements in collaboration with numerous outside partners.

The area of sensor-based robotics is the responsibility of the Computing Technology Section. The techniques of 3-D measurement are being adapted and demonstrated in robot control with emphasis on a wrist-mounted camera. Central to the work in the advanced robot controller is the realtime multiprocessor operating system Harmony.

The Information Technology Section is focusing on applied artificial intelligence with the emphasis being on knowledge-based systems/expert systems. Activities include work on engine health monitoring, machine learning, and the development of an expert tutor system. Because of the applied nature of this project collaboration with users is an important aspect of all of the work.

As part of the CIIT in Winnipeg the Robotics and Automation Section is devoted to working with industrial partners. Current projects are in the areas of sensor-based robotics, computer-aided production and inspection, and knowledge-based systems. Close ties to the Ottawa sections of the Laboratory are being developed in order to extend the base of expertise available.

Technology Transfer

- Harmony is a product of proven technical superiority which is capable of competing in a world market. Last year, on the basis of the response to a Request for Proposals, a Canadian company was chosen to commercialize and support Harmony. In addition, ongoing support to earlier licencees is being increased. Increased support is being given to licencees to encourage industry to continue the commercialization and to undertake to provide future support for Harmony.

- A lateral effect diode operating at 1.5 μm was designed and fabricated under a contract by RCA in Montreal. A complementary laboratory development of a fiber-optic laser operating at 1.5 μm, at the highest power levels ever achieved for this type of laser, now allows experimentation in eye-safe laser triangulation.

- The multiprocessor architecture developments supported by Harmony are being applied to embedded control applications. The latest version of KALI, an advanced robot programming system, was implemented at McGill University, Montreal, Quebec, under a contract from the Division, using the Harmony Operating System. This allowed the Laboratory to demonstrate the superiority of Harmony for these applications while providing an enhanced robot controller for laboratory experiments.

- The mobile robot for health care project, a joint project with the Laboratory for Biomedical Engineering, is exploiting the core technologies of this group. Technology developments are being pursued with Cyberworks Inc., Everest and Jennings Canadian Ltd., and Fortress Scientific. Functional requirements of the mobile robot are being refined with potential user institutions.

Collaborative Programs

- The Intelligent Advisor project is continuing in cooperation with a Canadian company SystemOID Inc. and the University of Leeds in the United Kingdom. This system aims to provide a user with advice tailored specifically to his immediate goals.

- The prototype diagnosis and troubleshooting advisor for acceleration faults on the J85 jet engine was demonstrated. This is a joint project with the Engine Laboratory of the Division of Mechanical Engineering, supported by the Department of National Defence.

- The Laboratory is participating with MPB Technologies Inc. and Noranda Research in a PRECARN project applying realtime expert systems to process control. The first demonstration will be control of a copper–zinc flotation cell.

- A high-pressure fiber-optic feedthrough was developed in collaboration with the University of Quebec in Hull.

- Exploratory work in nonlinear materials to be used in integrated optics for optical sensors and optical processing has begun to generate commercial interest. Collaborative efforts with the Canadian Marconi Company and the University of Ottawa on the electric field sensor and with Marconi on a new guided wave optic device look promising. A blue laser is being developed in cooperation with MacDonald Dettwiler and Associates Ltd. and Simon Fraser University.

- Cooperative efforts with external partners have resulted in enhanced capability to the wrist-mounted scanner as well as successful demonstration of its application. The 2-axis scanner development undertaken jointly with McGill University is nearly complete. In cooperation with Spar Aerospace Limited, scanner data were used to determine the pose of a standard satellite grapple fixture.

Computing Technology Section

Head — N. Burtnyk

Introduction

Most of the applications of robots today are in processes where the machine performs what is essentially a regular and repetitive task in a highly structured environment. The cost of structuring a task can be considerable so this greatly restricts the spectrum of applications that are cost effective. Future generations of robots will be intelligent autonomous systems which, through the use of sensory perception, will carry out the necessary reasoning and planning processes to adjust their actions as required in performing their task. This increased flexibility will greatly extend the range of applications into new areas that go well beyond the factory floor, especially in difficult and hazardous environments such as space, subsea, mines, and forestry where understanding the environment and dealing with unexpected situations are of paramount importance. The research activities of this Section are directed at this longer-term goal of advanced autonomous systems.

The technology of intelligent robotics is very much a problem in sensor-based control of a complex realtime system, and the emphasis in the research is on how to express this control in terms of viable computing systems. No direct effort is currently being applied to advancing or enhancing the robot mechanism itself. Instead, focus is on enhancing the capability of industrial robots through the addition of sensory function and intelligent control. The technology to deliver this enhanced capability represents an important potential market for Canadian industry in the form of value-added components that extend existing systems into new areas of application. Progress towards these advanced capabilities requires significant technical advances on several fronts. Work within this Section addresses the development of these technologies under three projects: Multiprocessor Architectures for Realtime Control, Sensor-based Robotics, and Mobile Robot for Health Care Applications.

The latter project is a collaborative undertaking with the Laboratory for Biomedical Engineering. Work in this Section emphasizes the generic technology of autonomous vehicles. Development of the health care application is primarily the focus of the Medical Engineering Section whose work is described elsewhere in this *Bulletin*.

Multiprocessor Architectures for Realtime Control

W.M. Gentleman, S.A. MacKay, D.A. Stewart, M. Wein, R. Parr

The Harmony Realtime Operating System

Work in multiprocessor architectures continues to be centered on the ongoing development of Harmony, a multiprocessor multitasking realtime operating system. The dual goals of the project are the general development of the software technology for building embedded systems and the specific development of the Harmony Operating System itself.

The Harmony technology and, in particular, the Harmony Operating System have been developing in our laboratory since 1982, and continue to be enhanced and extended. Outside NRC, the operating system has been available on a beta test arrangement almost since inception, and has been commercially available through four primary licencees for several years. It has been used in several projects at the University of Waterloo, Carleton University, Royal Military College, and Queen's University, and has also been obtained by other universities. A variety of industrial users have obtained Harmony for possible use internally or in future products, and products using it are now beginning to appear. The community of users provides important feedback on the evolution of Harmony with respect to additional capabilities that are needed and on extensions, enhancements, and deficiencies in the existing system.

Release 3.0

The most significant milestone over the past year was the completion of Release 3.0. The new features incorporated include:

- Harmony supports the following processor systems: DY-4 DVME-134 single board computer (SBC) and Io Inc. V68/32 SBC, both with MC68020 processor and MC68881 floating point processor, and the Atari 520 ST or 1040 ST (MC68000) evaluation machine. There is also continued support for the Omnibyte OB68K1A (MC68000) SBC.

- Development on the Macintosh using the Consulair Mac C compiler is now supported for all target systems mentioned above.
- Development under the A/UX Macintosh Unix operating system is now supported for the DY-4 and Io Inc. target systems.
- A "Plug-and-Play" evaluation target system using the Atari 520 ST is now supported. The minimal evaluation/development configuration consists of a Macintosh Plus and an Atari 520 ST. This combination is extremely useful for that purpose because both are relatively low-cost computers.
- Kernel enhancements include support for full 32-bit addressing. One consequence is that Harmony now permits up to 1023 processors with up to 4096 tasks per processor.
- Message size no longer has a 64 kbyte limit.
- A server is provided to support UW, a multiwindow terminal emulator running on the Macintosh.
- Enhancements to the serial communications servers have been implemented to handle higher speed lines with full flow control. Also, stream I/O was improved and two concepts were introduced: device groups and the generic naming of devices.
- The local task manager has been enhanced.
- There is a new and complete TCP/IP server.
- Several enhancements to the debugger have been implemented.
- Performance improvements were implemented, as well as enhanced performance-measuring tools (e.g., timing utility).
- Major restructuring of the source tree (system, examples, and tools) was completed, achieving significant improvements in clarity and significant improvement to portability.

Evolution of Source Management System

The most significant difference between the software engineering technology of Harmony and more conventional software engineering is the need to support common situations in the construction and evolution of embedded systems. These include the need to be portable across development host as well as target, the need to simultaneously maintain and evolve many versions of each program, the need to integrate efforts on development hosts that are loosely coupled, and the need to integrate efforts of developers who may be from different organizations.

Two aspects of the Harmony source management approach are key to coping with these issues. The first is that source code is regarded as a database, from which items are selected to form a particular instantiation of a program. This database is structured as a tree, and the selectors corresponding to different instantiations also are structured as trees. The second is that development is done with files in sparse trees parallel to the base tree, which can be overlaid on the base tree to give the developer the perception of the composed tree. However, the relationships defined by the different trees are not lost until an actual integration merge is done. The layered structure is shown in Fig. 1.

Experience with this approach has led to revision of the database tree structure in order to reduce redundancy, identifying a tree template for facilitating use of application program instances, defining tools that would automate some of the management operations, and has also led to an understanding of how the use of more layers could finesse certain awkward situations. The principles of this work are now ready for publication, and experimental support tools can be produced.

Development Environment Enhancements

As staff members have gained experience with doing development on the network of Apple Macintosh workstations, there have been satisfactory productivity increases and the environment continues to be comfortable. There is an ongoing activity of finding better tools than those currently used, new tools that will overcome remaining problems, and tools to automate parts of the activity not previously computer assisted.

Multifinder, HFS Navigator, and MacTree (Fig. 2) are all examples of commercial tools that have had significant impact on this work. Tools developed in-house, such as bound (evaluates the minimum stack size for stacks), examine (disassembler), and fixaddr (produces an executable image), still need considerable work, especially on the user interfaces, before being satisfactory in this environment. The Multi-Device Emulator (MDE) is still evolving. Faster downloading in several forms, including XMODEM and parallel transfers, as well as transfers to and from local disks, has alleviated somewhat a nagging

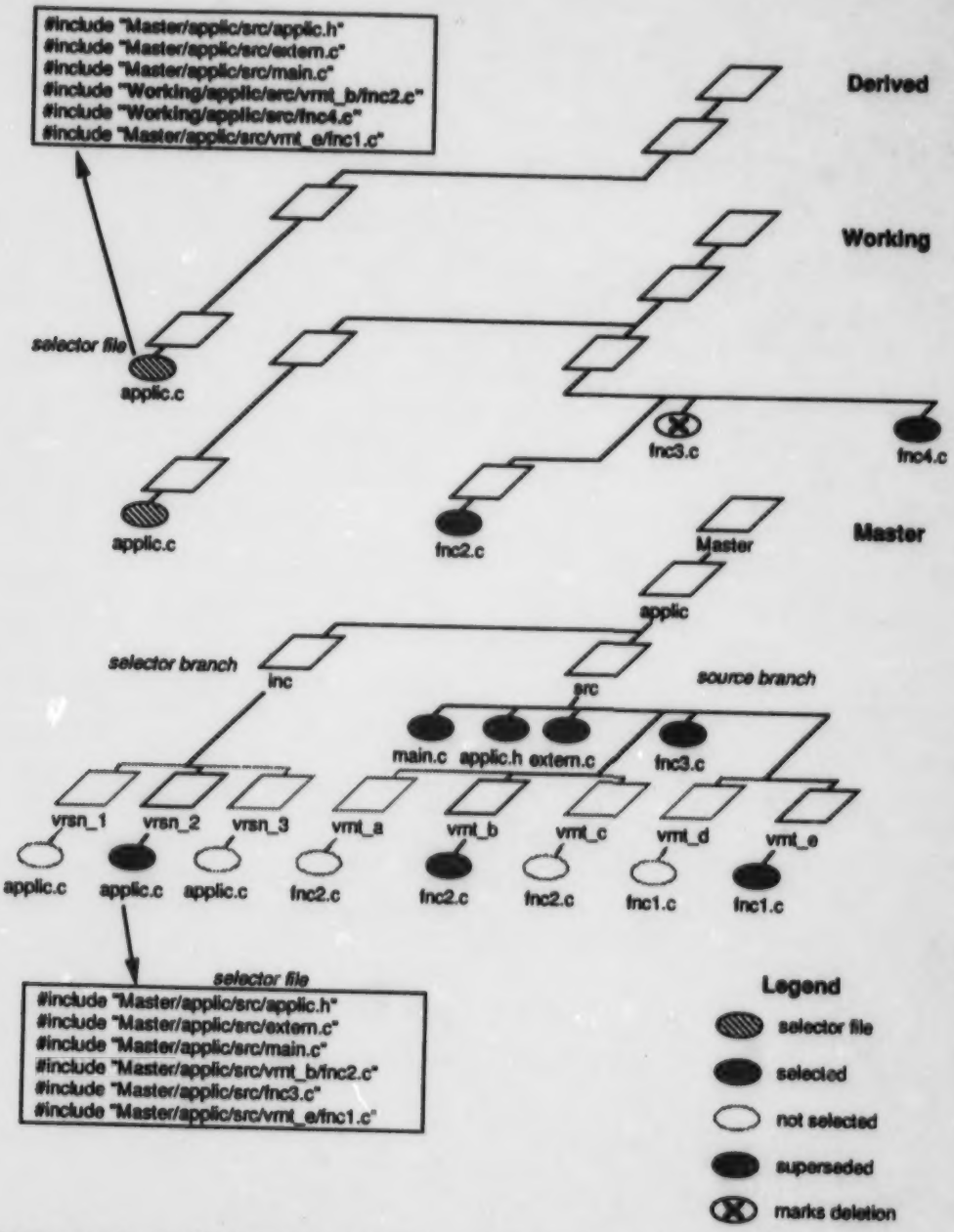


Figure 1. Layered structure used for Harmony source management.

annoyance. A new kind of tool to be developed, the interface between a target and a tightly coupled development host, has been identified.

Publication and Documentation

Documenting a production software system is considerably more than traditional academic presentation of results. The need for documentation and publicity is addressed through several media. Conventional publication in academic journals and at academic conferences is one. A revised technical report describing Release 3.0 (DEE/ERA-377) is available, as well as a detailed release bulletin (supplied online with a release) which describes the changes in the new release. A series of application notes (also supplied

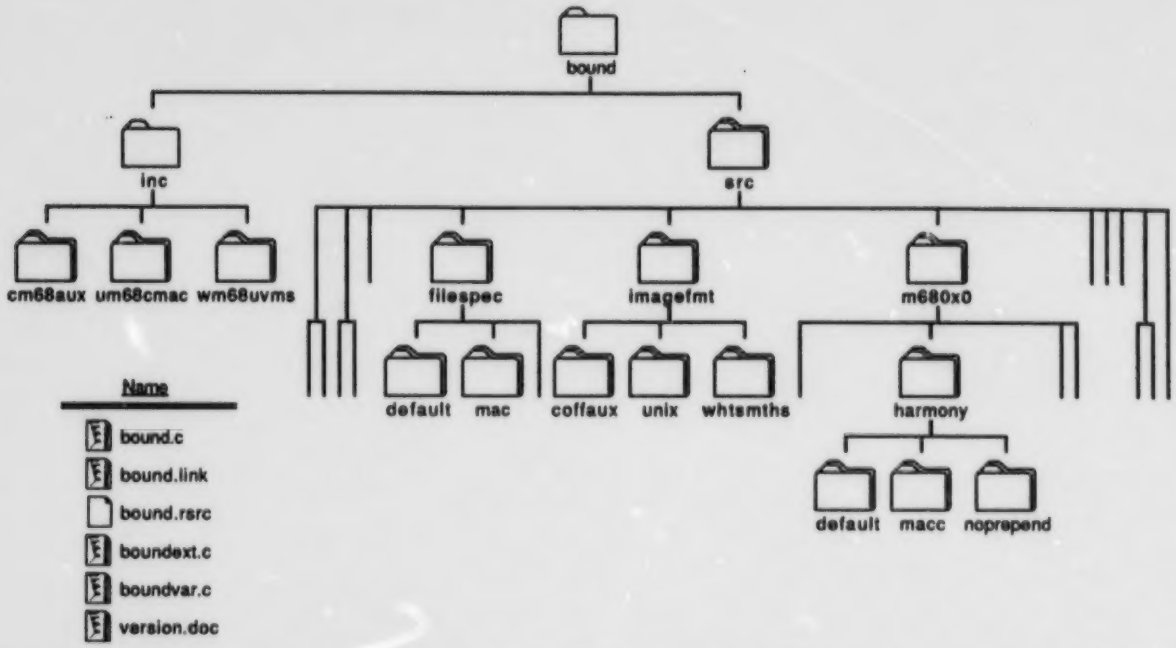


Figure 2. A tree structure of the Harmony source code as presented by MacTree.

online, and available as a compendium (DEE/ERA-378) provides in-depth discussion of philosophical issues or intricate rationale. Interactive presentations and demonstrations have been given and courses run. Recently, there has been experimentation with Hypercard, using Hypertext as a way of allowing the reader to follow the many tangents one might pursue from any simple description of something as deep and complex as an operating system.

Sensor-based Robotics

Intelligent Control

S. Elgazzar

The Harmony-based controller for the PUMA robot has been completed. This implementation provides an open and flexible multiprocessor system control environment that readily accommodates control of multiple arms and the integration of a wide range of sensory control functions.

Preliminary investigation of dual-arm coordinated motion has begun. Hardware modification of a second PUMA arm to interface its joint servos to the multiprocessor controller has been completed. Modifications to the control software for operation in the dual arm mode are being made.

To date, the manual control mode has been updated to fully support the control of both arms. The necessary changes to support task synchronization between the two arms through the program control mode have been implemented. For synchronized control, both arms are controlled separately but their individual motions are synchronized so as to cooperate in the execution of a single task. The task structure for this control environment is shown in Fig. 3. For coordinated motion, the two arms may interact with a common object so it becomes necessary to continually control their relative positions while moving the object along the desired path. The changes that will be required to support task coordination and the integration of a force sensing wrist into the controller are underway.

In the present system, the high-level control structure is an adaptation of Robot Control C Library (RCCL) that was originally designed at Purdue University for a single-processor single-arm environment. A new version of this software, KALI, designed at McGill University for multiple arm control, is being redesigned to take full advantage of the Harmony multiprocessor environment. This development, carried out jointly with McGill, will provide

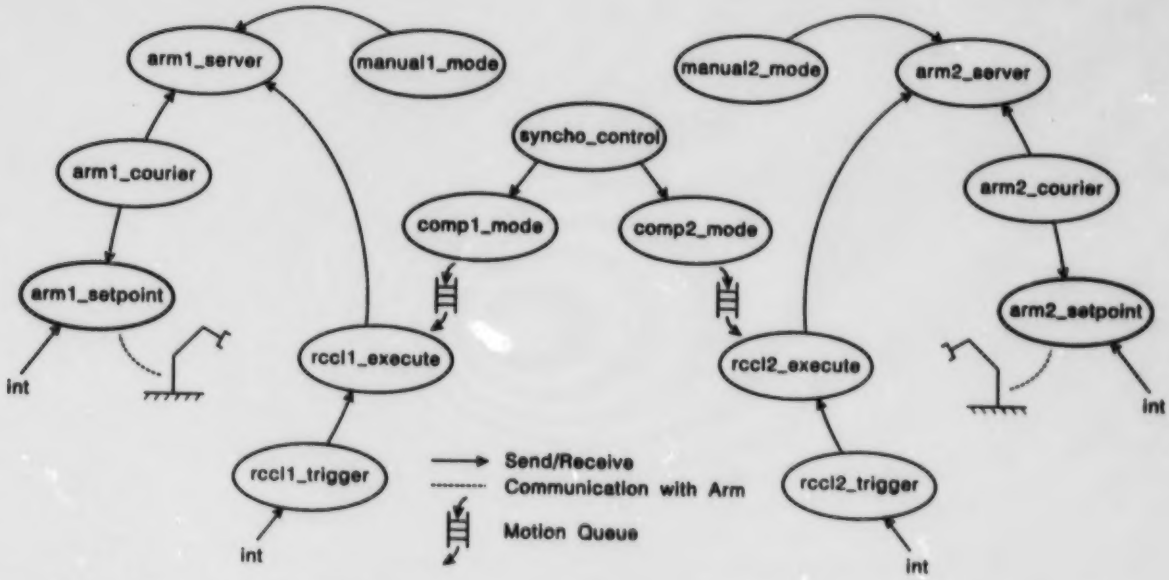


Figure 3. Harmony task structure for synchronized control.

an experimental test bed for exploring and demonstrating concepts associated with the autonomous operation of the dual arm Special Purpose Dexterous Manipulator (SPDM) subsystem for the Mobile Servicing System of the Canadian Space Station Program.

Robot Vision

Wrist-mounted Range Profile Scanner

G. Bechthold, S. Amid,[1] N. Burtnyk

An improved version of the compact wrist-mounted camera has been developed over the past year. The major enhancement involves the addition of a *Y* scanning system to deflect the *X* scanned fan beam under program control for acquiring a set of selected parallel range profiles from a single camera position. The *Y*-scan mirror is driven by a micro stepping motor providing a 30° field of view in up to 256 steps. The *Y* mirror is moved to its desired position during the retrace of the *X* scan thus maintaining a constant profile acquisition rate of 12 scans per second even for varying step sizes. Another important enhancement is the addition of a modulator in the laser source beam to dynamically compensate for weak signal strength caused by long target distances or by low surface reflectance.

[1]Guest worker.

Both the *X* and *Y* scanning systems have been integrated into a single new design to maintain maximum control over manufacturing and alignment tolerances. The original *X*-frame optical geometry has been adjusted to accommodate the increased path length through the *Y*-deflection system. The resulting unit, shown in Fig. 4, is a little less compact than the original *X*-frame.

The control electronics for the scanner has been standardized on a VME bus and printed circuit boards have been constructed to improve its reliability. Polar-to-Cartesian lookup tables, derived from a calibration of the *X* scan, remain within the control electronics. Adjustment of coordinates depending on the *Y* position will be the responsibility of the user program.

Development of this new 2-axis scanner, now in its final testing stage, includes participation by the Computer Vision and Robotics Laboratory of McGill University. Two identical prototypes are being produced, one for NRC and one for McGill. The rate of progress has been slower than anticipated due to difficulty with a number of the components. Based on progress to date, however, Servo-Robot Inc. has expressed a strong interest in marketing this new design. The terms under which its existing license could be extended to include this design are being discussed.

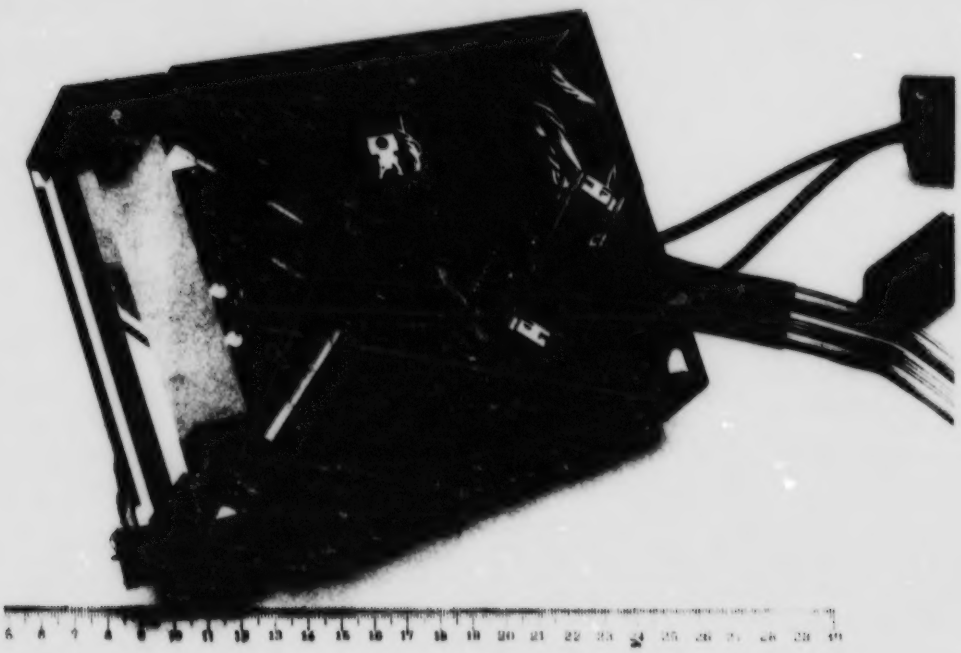


Figure 4. Compact range camera with 2-axis scanning.

Calibration of Range Profile Scanners

C. Archibald, C. Merritt, S. Amid[1]

To be useful for data interpretation, the range–azimuth readings provided by the profile scanner must be converted to Euclidean two-dimensional space. This calibration is achieved through the use of lookup tables stored in the scanner hardware. The calibration also corrects for various nonlinear distortions caused by the scanner's geometry.

The procedures used to create the calibration lookup tables have been improved. A new technique that uses linear interpolation to generate the calibration lookup tables has improved measurement accuracy to about 0.1 mm at short viewing distances (10–20 cm). At the longest viewing distance of 100 cm, accuracy reduces to about 3 mm. In the course of refining the calibration procedure, the configuration of the optical path was readjusted for a better compromise between depth of view, resolution, and scan angle.

Further modifications have been made to the calibration method to accommodate tilted mounting positions of the scanner. This is required for the dual head configuration.

The dual head profile scanner has been calibrated and assembled on the robot wrist. The scanners are mounted at right angles to each other and skewed along the direction of the scanlines so that the lines cross each other near the center of the scanlines at the typical working distance (Fig. 5). Because there is a correspondence between the data on each of the scanlines in the neighborhood of the crossing point, it is possible to extract surface information directly from this data. This configuration will support the interpretation of surface features for object recognition.

A program has been implemented which will be used occasionally to verify that the calibration lookup tables are still valid for a particular scanner mounting.

Applications of the Range Profile Scanner

C. Archibald, C. Merritt

A study undertaken with Spar Aerospace Ltd. to assess the suitability of a range scanner as machine vision support for the Canadarm has been completed. The objective of the study was to determine whether the position and orientation (pose) of a standard satellite grapple fixture could be found with this

[1]Guest worker.

Figure 5. Acquisition of surface data using cross configuration of profile scanner.

device in order to perform automatic berthing or deberthing of a satellite.

A laboratory mock-up of the problem was implemented. The range profile scanner was mounted on the wrist of the PUMA 560 robot. For each pose determination experiment, a small number of parallel range profiles passing over a model of the grapple fixture were collected. The profiles were processed to recognize the basic structural components of the grapple fixture. The recognized components were then used to determine the grapple fixture pose. The algorithms were successful in a number of experiments under a variety of conditions. These included: use of different numbers of range profiles, collecting data from different viewing angles, and from different viewing distances.

This work is being extended to study the more general problem of pose determination of a known object from sparse range data. This involves modeling of objects, extracting features from the range data, and matching the features to the model. The matching algorithm uses a heuristic hypothesize and test search technique.

Realtime tracking of a moving object in two degrees of freedom using the wrist-mounted range profile scanner was reported in last year's *Bulletin*. This is being extended to perform tracking in five degrees of freedom, using the dual head configuration in a Harmony multiprocessing environment. The objective of this study is to demonstrate realtime tracking and grasping of moving objects.

Robot Task Planning

Task Level Programming

K.B. Evans

If a robotic system is to perform a task in an environment that is not well structured, then the programming of the task cannot be in the form of specified arm motions. Instead, specification of the task must be at the level of task operations or goals to be achieved from which the system must generate and execute its own plan of detailed action in an autonomous manner.

The development of a graphics-based facility for creating a specification of an assembly-like task in a partially unstructured environment is continuing. It is based on the concept of "key states" which define the desired progression through the task using a "point and click" and "show by example" style that is intuitive for a nonprogrammer. Each successive key state is to be achieved by invoking actions or skills from the library of capabilities that the robotic system can perform.

In the past year the user interface was enhanced and a modeler written to handle an environment consisting of any number of simple rectangular solids and multiple two-fingered PUMA 560 style robot grippers. Pull-down menus allow the user to edit each of the key states in an existing assembly sequence, save/retrieve assembly sequences, perform geometric editing, change the user's viewpoint, issue commands to create a new key state, install various default geometric entities, etc. The commands currently available to control the assembly process include select the current gripper, grasp a specified object in a specified manner, move the gripper to a specified target, release (and back off slightly from) a load, move to an intermediate

point, etc. Parts, environmental objects, and robot grippers can be copied and deleted as well as being moved and resized independently along the three axes.

The creation of the task specification commands is nearing the first significant milestone in which a simple task can be fully specified and the user can run graphically backwards and forwards through the critical stages in order to make any changes. This system is also a prototype for programming tasks in a structured environment with no sensors, no reasoning, and only limited path planning. Issues to be explored in the near future include whether or not the offline system can be used to create macros which provide some of the common sense skills required by the online system, or whether such skills should always be resolved by the online planner. Such common sense features include knowing how to rearrange a block so that it presents the required face uppermost and clearing any obstacles from a site before trying to place a load on it. None of these are the sort of meticulous details that the task specifier should have to be concerned with for every new assembly task.

Task Planning

T.H. Sheportycki

During the past year work continued on extending and enhancing the capabilities of the knowledge-based hardware/software development system that was assembled to support robot task planning experiments.

To operate in the real world, robotic systems must be able to execute high-level instructions in spite of actions that may fail or only partially succeed. This can only be accomplished if the system is able to detect such errors through integrated vision and tactile sensing. To provide tactile sensing capability, a pair of Lord Corporation LTS-200 tactile sensor systems was acquired for mounting on the gripper. These sensors provide both touch (10 × 16 sites) and force/torque sensing about the three coordinate axes at the touch surface. A software package was written for these sensors and integrated into the development environment.

Future plans include use of the wrist-mounted laser camera to provide visual feedback for the task planning system. In preparing for this integration, a 3-D geometric model of the robot has been created. To protect both the camera and the manipulator from physical damage, algorithms were devised for the robot model that detect collisions with the table top and/or the rear wall of the robot's environment. Motion commands that would result in such collisions are detected prior to execution. The operator is notified to take appropriate action.

For humans, task planning directives are more intuitive when referred to Cartesian space rather than the joint space of the robot. Hence, an adaptation of the direct and inverse kinematics software that was developed for the Harmony-based robot controller has been integrated with the software entity which encompasses the geometric, the spatial, and the procedural knowledge of the robot.

To facilitate tool-oriented manipulator motions, a package of software procedures was written and incorporated into the previously described VAL-II emulator package. With these procedures one can move the manipulator any distance, absolute or incremental, along any of the three tool coordinate axes.

Work is continuing on a more sophisticated 3-D gross motion path planner for collision avoidance. This work is similar to that proposed by others in that obstacles in the work space environment are mapped into the joint space of the robot where a search algorithm seeks out safe paths for the manipulator joints.

Mobile Robot for Health Care Applications

D. Green, R. Liscano, S. Hung

In September 1987, a collaborative project between the Medical Engineering Section and the Computing Technology Section was initiated to develop a mobile robot for health care applications. The project has two general aspects: to identify and develop a practical health care application of mobile robot technology, and to develop the generic technology required for an autonomous vehicle. The Computing Technology Section is currently pursuing the latter objective. The contribution of the Medical Engineering Section, which deals largely with the application development, appears elsewhere in this *Bulletin*.

Major research activities with the vehicle will be concerned with the system control architecture and sensor-based navigation. In order to develop these capabilities, effort during the past year has been concentrated on constructing the experimental environment that is required before the more research-oriented work can be undertaken. This environment

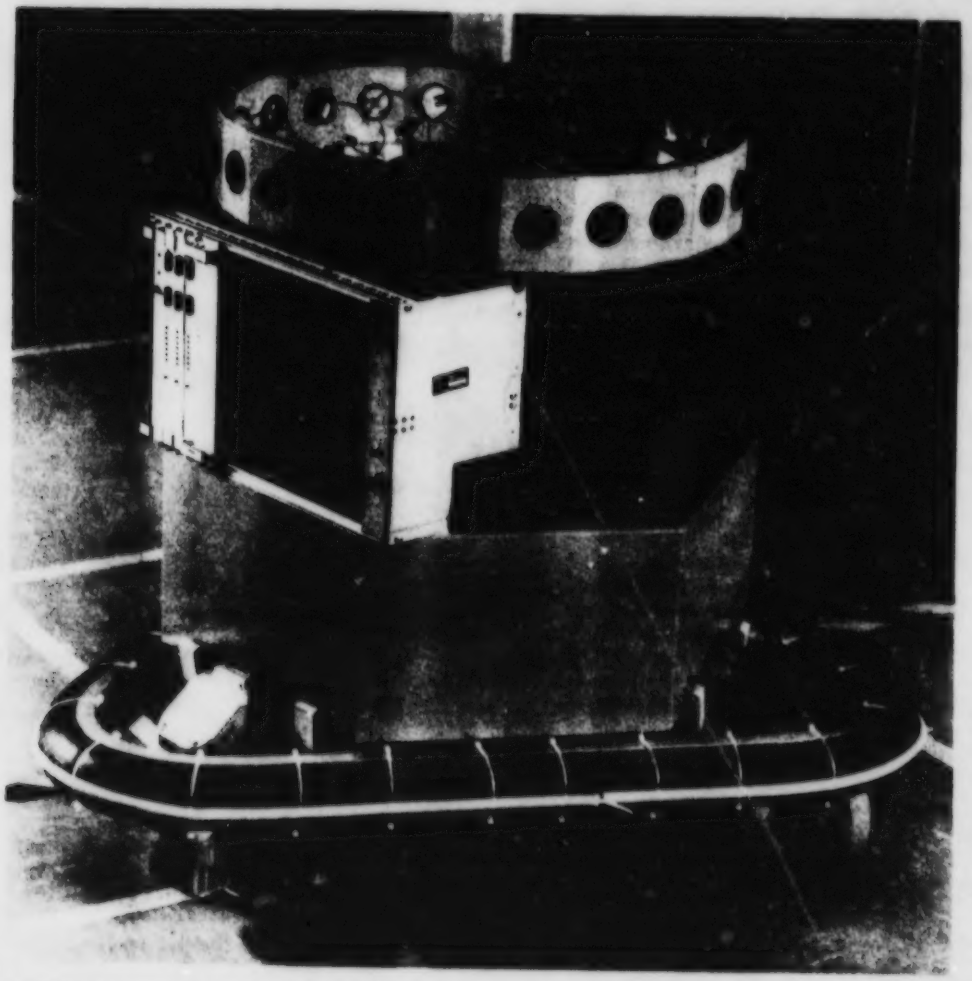


Figure 6. Mobile robot platform with onboard computing and ultrasound sensor ring.

consists of a commercial mobile vehicle, an on-board computing system, and range sensors (Fig. 6). In addition, continuous path control capability has been developed for the vehicle.

Control Methodologies

In formulating the control architecture, a four-level hierarchical concept has been chosen to fully integrate sensing, decision making, and vehicle control. The lowest level is concerned with vehicle motor control and to a large extent is provided by the vehicle design itself. The second level now generates vehicle trajectories between points presented from level 3. A planner now exists at levels 1 and 2 to supervise and to maintain the state of the system. Data from level 2 to level 1 consist largely of motor drive commands expressed as velocity profiles while data from level 3 to level 2 consist of sequences of goal points in a 2-D Cartesian space.

Additional efforts have focused on incorporating sensor components into the hierarchy because of the immediate need for a noncontact bumper system to prevent collisions. At this time, input of goal points to level 2 is provided manually through an interactive graphical interface.

Computer Architecture

Two separate computing requirements have been identified. The first is concerned with realtime control of the vehicle, while the second addresses the needs for rapid experimentation. For realtime control of the platform, a multiprocessor Harmony machine has been prepared. Currently it is tethered to the vehicle but can be installed on the vehicle as

required. It consists of several VMEbus 68020-based single-board computers. A high-speed parallel "downloader" to support fast program transfers from a Mac II to the Harmony machine has been developed.

Separate experiments on vehicle control, trajectory generation, ultrasound sensors, and on the laser slit scanner have all used Mac II computers through simple serial or parallel interfaces. This has proven to be a fast and effective method to evaluate these components before they are integrated into the Harmony system.

Sensors

Range sensors are fundamental components for an autonomous vehicle. They are needed in the generation of maps that are the basis for path planning. Several range sensors are being developed as a part of this project.

An active infrared laser slit camera is being developed. The scanner emits a vertical slit of laser light that is mechanically scanned horizontally. A compact CCD video camera collects the reflected radiation. Triangulation is used to determine the distance to the closest object. So far, due to limited resources, the concept evaluation has been based on simple experiments with only partially automated data collection. The results have been sufficiently encouraging that hardware has been designed to support fully automated collection of range and azimuth data.

An initial investigation has been conducted concerning the use of stereo vision for producing sparse distance maps. The original left and right 480 x 640 image arrays are reduced with a 5 x 5 operator to new 96 x 128 image arrays. Extraction of features is based on line-by-line vertical edge detection. A scanline from one image is compared to the corresponding scanline in the other. The major critical points for a scanline are extracted and the segments between critical points are matched in order to compute the distance at each critical point. The distance at points between major critical points is computed by linear interpolation. A median filter is used to smooth the results vertically to eliminate spikes. Initial results are encouraging.

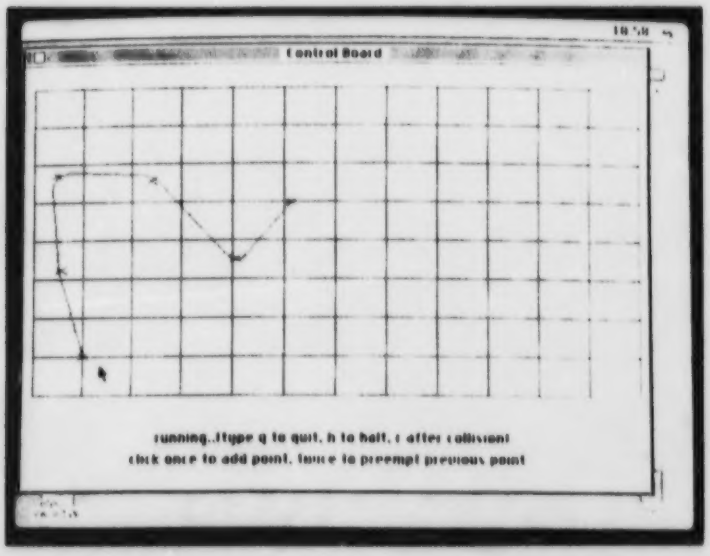


Figure 7. User interface for vehicle drive control development.

Drive Control

For this application, vehicle drive control should be characterized by accurate constrained continuous motion. The drive control, which occurs at level 2 in the control architecture, is implemented as two components. At the low level, it will drive the vehicle by velocity servoing. The vehicle as designed by its manufacturer supports this. A server has been written in Harmony that synchronously presents velocity setpoints to the vehicle servo controller at the vehicle's internal sample rate.

At the higher level, a method has been developed for computing a trajectory motion such that the path transcribed by the robot from a start point past an intermediate or via point and to a goal point is continuous and predictable. The generated robot path in 2-D space is the closest path to the intermediate point that the vehicle can achieve given the velocity and acceleration limitations of the mobile platform. In addition, a user interface was designed that runs on a Mac II computer and communicates with the Harmony-based controller at level 2 in the control hierarchy. This interface presents a 2-D grid display of the position of the robot and allows a user to enter destination commands to the vehicle by clicking a mouse (Fig. 7).

To achieve proper vehicle control, reliable serial communications with the control computer of the vehicle had to be established and hardware modifications to its electronics were necessary.

Navigation

Navigation has been partitioned into two problems: global path planning and position estimation, and obstacle avoidance. The former is treated as a static problem while the latter is a realtime problem. It was decided to

concentrate on the realtime problem of obstacle avoidance.

As a precursor to the development of navigation capabilities, an initial investigation of data representation methods is being undertaken by a graduate student in Electrical Engineering from the University of Ottawa. His approach is based on the "occupancy grid" method developed at Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania. Software development is now in progress.

Other Activities

A number of activities have been concerned with preparation of the experimental environment itself. The basic K2A vehicle from Cybermation has been augmented. A tactile bumper has been installed around the perimeter of the vehicle which at present turns off the motors on contact. A VMEbus chassis has been installed on the vehicle to accommodate the Harmony multiprocessor and sensor electronics. A fixed circular tray has been built and installed to accommodate a 360° ultrasound array and its control electronics. Another tray will be installed on the rotating turret to provide a base upon which to mount forward-looking sensors such as the laser slit scanner. Finally, a ceiling-mounted pulley track has been installed in the laboratory to provide a simple tether for the vehicle.

At this time, continuous path vehicle control can be demonstrated. The Mac II user interface provides a testbed to simulate the high-level system components. Destination points can be appended to the current motion sequence or points can be introduced to preempt the current motion. When the ultrasound server is complete, collision-free behavior will be demonstrated.

Meetings with potential clients and collaborators have been held in order to outline the general objectives of the project and seek their inputs. One brought together a number of people currently involved in institutional care for the physically and/or mentally handicapped. This discussion helped to focus the application. A second involved two Canadian wheelchair manufacturers. They have endorsed the direction of the research project and have expressed an interest in tracking its progress and playing an advisory role. Contacts with the academic research community have resulted in the proposal to establish a Network of Centres of Excellence for Health Care Robotics. This project provides the basis for a major focus within the proposal.

Recent Papers

Published

Arnid, S., Tretheway, B., and Archibald, C. A system for calibrating the wrist-mounted laser range finder, NRC/ERB-1012. November 1988. 66 pages. NRC 29799.

Archibald, C. Processing single range profiles from a wrist mounted laser range finder. Proceedings of Vision Interface '88, Edmonton, Alta., June 6–10, 1988. pp. 13–18. NRC 28979. *Reprinted as* Use of a wrist mounted laser range finder, *in* "Computer Vision and Shape Recognition," Series in Computer Science, Vol. 14. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore. 1989. pp. 69–86. NRC 30404.

Archibald, C., Gentleman, W.M., and O'Hara, D.H. Realtime feedback control using a laser range finder and Harmony. Proceedings of the 7th Canadian CAD/CAM & Robotics Conference, Toronto, Ont. June 15–16, 1988. pp. 6:56–6:62. NRC 28978.

Elgazzar, S., Green, D., and Gentleman, W.M. Open system architecture of a multiprocessor robot controller. Proceedings of the 7th Canadian CAD/CAM & Robotics Conference, Toronto, Ont. June 15–16, 1988. pp. 6:63–6:69. NRC 28977.

Gentleman, W.M. Multiprocessor realtime applications. IEE International Specialist Seminar on "The Design and Application of Parallel Digital Processors", Lisbon, Portugal. April 11–15, 1988. pp. 15–20. NRC 28848.

Gentleman, W.M. Parallel computing you can do. Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on Underwater Acoustic Data Processing, Royal Military College of Canada, Kingston, Ont. July 18–29, 1988. pp. 628–635. NRC 30631.

Gentleman, W.M. Realtime applications: multiprocessor in Harmony. Proceedings of the BUSCON/88-East Conference, New York, NY. October 4–6, 1988. pp. 269–278. NRC 29408.

Gentleman, W.M. Managing configurability in multiinstallation realtime programs. Proceedings of the Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Vancouver, B.C. November 3–4, 1988. pp. 823–827. NRC 30632.

Gentleman, W.M., MacKay, S.A., Stewart, D.A., and Wein, M. An introduction to the Harmony realtime operating system. IEEE Computer Society Technical Committee on Operating Systems Newsletter. Summer: 3–6; 1988. NRC 29288.

Gentleman, W.M., MacKay, S.A., Stewart, D.A., and Wein, M. Using the Harmony Operating System: Release 3.0. NRC/ERA-377, February 1989. 65 pages. NRC 30081.

Hung, S.H.Y. A practical approach of 3-D object recognition in range data. Proceedings of the 1st International Conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and

Expert Systems. University of Tennessee Space Institute, Tullahoma, TN. June 1–3, 1988. Vol. II, pp. 1131–1138. NRC 29184.

Hung, S.H.Y. A study on the feasibility of a global description of 3-D objects in range data for recognition purpose. Proceedings of Vision Interface '88, Edmonton, Alta. June 6–10, 1988. pp. 168–173. NRC 29186.

Hung, S.H.Y. A graphics package for simulating the data of range finders. Proceedings of Vision Interface '88, Edmonton, Alta. June 6–10, 1988. pp. 115–121. NRC 29185. *Reprinted in* "Computer Vision and Shape Recognition," Series in Computer Science, Vol. 14. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore. 1989. pp. 331–348. NRC 30406.

Hung, S.H.Y. A Graphics Package for Simulating the Data of Range Finders. NRC/ERB-1017. September 1988. 19 pages. NRC 29531.

Hung, S.H.Y. A fast 3-D object recognition algorithm for the vision system of a special purpose dexterous manipulator. NASA Conference on Space Telerobotics, Pasadena, CA. January 31 – February 2, 1989. NRC 30044.

Korba, L.W., Liscano, R., and Durie, N. An intelligent mobile platform for health care applications. Proceedings from the International Conference of the Association for the Advancement of Rehabilitation Technology, Montreal, P.Q. June 25–30, 1988. pp. 462–463. NRC 29482.

Korba, L.W., Liscano, R., Green, D., and Durie, N. Issues concerning the development of a mobile platform for health care applications. Proceedings of SPIE Conference, Mobile Robots III, Cambridge, MA. November 10–11, 1988. pp. 309–313. NRC 29599.

Liscano, R., Green, D., and Korba, L. W. Intelligent platform for health care applications. First International Workshop on Robotic Applications in Medical and Health Care. Ottawa, Ont. June 23–24, 1988. pp. 22.1–22.7. NRC 29117.

MacKay, S.A., Gentleman, W.M., Stewart, D.A., and Wein, M. Harmony as an object-oriented operating system. ACM Sigplan Notices, 24(4): 209–211; 1989. NRC 29636.

Merritt, C., Archibald, C., and Ng, T. Pose determination of a satellite grapple fixture using a wrist-mounted laser range finder. Proceedings of SPIE 1002, Intelligent Robots and Computer Vision: Seventh in a Series Advances in Intelligent Robotics Systems, Cambridge, MA. November 6–11, 1988. pp. 583–590. NRC 29593.

Shepertycki, T.H. A knowledge-based framework for robot assembly experiments. Proceedings of the Electrical and Computer Engineering Conference, Vancouver, B.C. November 3–4, 1988. pp. 598–601. NRC 29591.

Yamada, H., Merritt, C., and Kasvand, T. Recognition of kidney glomerulus by dynamic programming matching method. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. PAMI-10(5): 731–737; 1988. NRC 30633.

Presented

Archibald, C. Wrist-mounted laser range finders and applications. IBM Los Angeles Scientific Center, Los Angeles, CA. February 6, 1989.

Archibald, C. Wrist-mounted laser range finders and applications. Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, CA. February 23, 1989.

Archibald, C. Wrist-mounted laser range finders and applications. University of Southern California, Los Angeles, CA. February 24, 1989.

Gentleman, W.M. The Harmony philosophy. Seminar on Harmony, Computer Graphics, and Experimental Psychology, Ottawa, Ont. June 23, 1988.

Gentleman, W.M. Managing configurability in multi-installation realtime programs. Seminar, Department of Systems and Computer Engineering, Carleton University, Ottawa, Ont. November 23, 1988.

Gentleman, W.M. The context of the Harmony project: nontraditional aspects of industrial use of computers. ACMIR Seminar, Ottawa, Ont. January 12, 1989.

Gentleman, W.M. A development environment for Harmony. Computing and Information Science Department, Queen's University, Kingston, Ont. January 31, 1989.

Gentlemen, W.M. Managing configurability in multi-installation realtime programs. IEEE Kingston Section, Kingston, Ont. February 1, 1989.

Gentleman, W.M., and Archibald, C. Robotics: three dimensions or more? The Conference on High Speed Computing. Lawrence Livermore and Los Alamos National Laboratories, Gleneden Beach, OR. March 14–16, 1989.

Green, D., and Korba, L. Investigation and development of health care applications of a mobile robots: NRC's approach. Workshop on Applications of Mobile Robots and Computer Vision, Toronto, Ont. March 2, 1989.

Merritt, C. Image analysis of plant chromosomes. Symposium '88, Applications of Image Analysis, Image Analysis Group of Eastern Ontario, Ottawa, Ont. September 9, 1988. (Invited.)

Roth, G. Early vision for range processing. NSF Range Image Understanding Workshop, East Lansing, MI. March 21–23, 1988.

Stewart, D.A., and MacKay, S.A. Harmony software engineering. Seminar on Harmony, Computer Graphics, and Experimental Psychology, Ottawa, Ont. June 23, 1988.

Information Technology Section

Head — J.W. Brahan

Introduction

The Information Technology Section carries out research and development in the area of applied artificial intelligence with a focus on knowledge-based systems. The projects that make up the Section's program of work are directed towards the development of knowledge-based system tools and methodologies and their application in response to identified requirements. Emphasis is placed on collaboration with other centers within NRC and outside. Currently, the Section is collaborating with the Laboratory for Biomedical Engineering in research on discovery learning from medical databases and with the Division of Mechanical Engineering's Engine Laboratory in the application of expert systems to engine health monitoring. External collaborators include Laval University, the University of Leeds, SystemOID Inc., Système Métavision Inc., MPB Technologies Inc., and Noranda Inc. The Section's activities are undertaken within the framework of three main projects: Knowledge-based Systems, Intelligent Advisors, and Engine Health Monitoring.

Knowledge-based Systems

The objective of this project is to develop and demonstrate a flexible methodology and supporting tools for the creation of systems that provide for the acquisition, representation, and application of knowledge. Activities include the development of a prototype system demonstrating inductive learning, investigation of "second-generation" expert systems involving the use of domain models as part of their knowledge base, and the development and demonstration of user-interface facilities for use in expert systems.

During the period under review, priority has been given to the initiation of collaborative projects with other centers in order to provide a focus for the tasks outlined in the project plan. A portion of future activities in engineering information system design and intelligent supervisory systems will be focused towards assisting a company in development of a computer-integrated manufacturing facility, subject to the necessary funding being obtained. Noranda Research, MPB Technologies, and NRC, under the umbrella of PRECARN (PRECARN Associates Inc.), are developing expert systems technologies in the area of process control. A general paper on the ergonomic aspects of expert systems for assisting operators in controlling realtime processes has been prepared. The use of the Harmony Operating System to implement a distributed realtime expert system shell according to the blackboard architecture is being investigated. Qualitative models of the chemistry of ore flotation are being built to explore the use of "envisioning" experiments in control and decision making.

SUN Workstation Network

W.H. Henneker

The network of SUN-3 workstations has been extended to include a sixth machine, a SUN 3/60 with 24 Mbytes of memory and 327 Mbytes of disk space. The color monitor attached to this workstation will facilitate work with the GoodNeWS and HyperNeWS software which originated at the Turing Institute and was further developed at NRC. Operation of the network has stabilized to the point where it is the principal computational facility of the Section. In the last month of this reporting period, a SUN-4/280 master file-server was added to the network. The Data General MV/8000, which for six years has been the Section's main computational resource, still provides backup, remote access, and disk storage services; however, no money has been allocated for its comprehensive maintenance this year. The MV/8000 will be declared surplus early in the fiscal year 1989–1990.

Machine Learning

J.W. Brahan, A. Famili

The objective of the project is to investigate techniques of discovery learning from data and to demonstrate feasibility through application to a subset of crime analysis and to a medical database. The investigation is using "learning by observation" techniques. Two approaches are being followed. DUCE, based on formal logic, identifies concepts through simplification of the logic description of the elements that make up the set. UNIMEM is a memory-oriented approach that uses similarity of attributes to identify nodes of related elements and positive and negative reinforcement techniques to establish descriptors for the nodes and to eliminate isolated events which do not form part of significant

groupings or concepts. Initial studies have been carried out in the area of crime analysis with break-and-enter data from the Ottawa Police Force and work is now starting on data from a medical database. In the first instance, there are a large number of examples with a few attributes describing each one. In the second instance, there are few examples but each has a large number of attributes. Initial work on the break-and-enter data had indicated some problems resulting from poor definition of geographic location in a way meaningful to the computer program. To address this problem, a statistical clustering program was developed to preprocess the location information to identify geographic centers of activity that could serve as reference points. Processing of the data from these clusters using DUCE has produced more consistent patterns than had previously been obtained. Some preliminary work has been done using ART to provide a structure for the relations generated by the machine-learning algorithm. Smaller shells are being considered with a view towards providing a prototype for field testing.

The definition of the intelligent supervisory system with learning capabilities has been completed. An interface has been built to allow the system operator to observe and control the operation of the IMAFO (Intelligent MAnufacturing FOreman). The interface is a window-based system that contains a clock, a menu window, a graphics window, and two command windows for text display and user input. An algorithm based on the technique of learning by observation has been developed for the learning module of IMAFO. The elements of the learning module, namely the monitor/input receiver, the generalizer, the knowledge base, and part of the understander have been developed using ART and LISP. Figure 1 illustrates the IMAFO Interface.

Natural Language Interface for an Expert Tutor

B. Farley

This task focuses on the design of a natural language interface for the explanation module of an expert-tutor system dealing with investments, developed by Système Métavision Inc. of Montreal using its expert-tutor system shell, TRILOGY. The objective is to set methodological guidelines for building natural language interfaces in similar types of applications. Subtasks to be accomplished are the development of a grammar for the French language to be used in analyzing French sentences with a Prolog-based parser, the development of the parser, the definition of

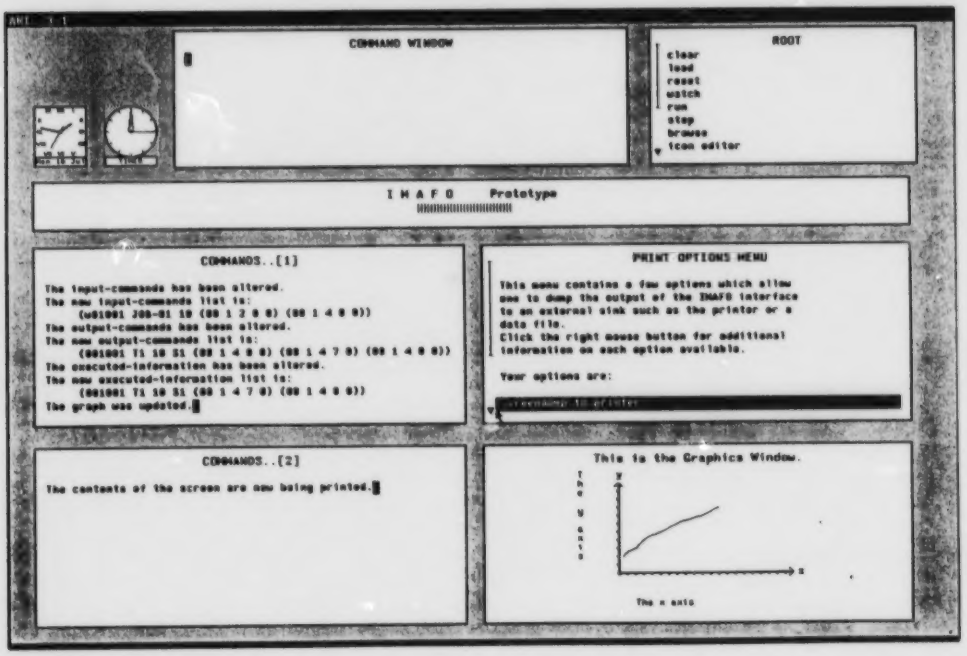


Figure 1. The IMAFO interface.

a logical form language to represent the semantics of the sentences, the definition of a knowledge representation formalism to encode the application's domain knowledge, and an inference/deduction method to analyze and interpret the meaning of the sentences. Most of the first three subtasks have been accomplished.

The grammar that has been implemented is a version of Michael McCord's Modular Logic Grammar (MLG) formalism adapted to the French language and modified so as to obey the constraints of a microcomputer implementation. Currently, the grammar covers a fairly good subset of the language: basic subject–verb–complement structure in affirmative utterances, "est-ce que" questions, adjectival and clausal noun modifiers, relative clause complements, etc. Much work remains to be accomplished, especially with regard to conjunctions, question, and verb analysis. The parser is a top-down, depth-first, left-to-right Prolog parser; the possibility of improving it with a tabular (chart) mechanism has been examined. Discourse problems have not yet been considered but the final system should be capable of handling anaphora and incomplete sentences where parts of speech have been omitted. The MLG formalism has its own logical form language for representing the meaning of analyzed sentences. Other logical representation schemes like the clausal form of first-order logic have been considered, with a view to defining an inference/deduction mechanism.

Realtime Expert Systems

J.W. Brahan, L. Buck, A. Diaz, R.A. Orchard, R.H. Wylie

The current activity in this area is the development of an advanced realtime expert system and supporting design tools as a PRECARN feasibility study in collaboration with MPB Technologies Inc. and Noranda Inc. The project is further supported by university expertise in the areas of process control and artificial intelligence.

Complex realtime systems are expensive to build and their timing constraints are often implemented and verified with techniques that make changes very costly. Expert system technology offers the potential of being applied along with other elements of computing technology, such as parallel computing, to produce more effective systems in this domain.

Work is underway on the development of a proof-of-concept prototype that will apply model-based reasoning, blackboard techniques, and the Harmony Operating System to control of a copper–zinc flotation cell. A detailed study of existing realtime expert systems has been carried out and an overview paper produced.

User Interface Tools

S. Abu-Hakima

Version 1.1 of the GoodNeWS/HyperNeWS software has been implemented as a result of continuing collaboration with the Turing Institute. Several demonstration advisors including one for toxic chemical disposals have been implemented using the HyperNeWS stack interface. Development activities currently in progress include a GoodNeWS/HyperNeWS–RATIONALE interface and knowledge browser and an electromagnetic hardening (EMH) advisor.

The first activity involves KnowledgeWorks Research Systems Limited and will result in a browser/editor for knowledge bases implemented using RATIONALE. RATIONALE is a reasoning tool that is intended for the implementation of expert systems that can reason explicitly for the purpose of explaining. The browser/editor interface has been implemented using GoodNeWS windows and HyperNeWS stacks. This activity requires the use of PostScript, C, and the Quintus Prolog interface to RATIONALE.

The electromagnetic hardening advisor has been developed in collaboration with the Electromagnetic and Power Engineering Section. The advisor has five HyperNeWS stacks that constrain the design of a system (be it an oscilloscope or an airplane) hardened against electromagnetic interference. The five stacks use HyperNeWS for the user interface and Quintus Prolog for the logic behind the user's system definition.

Intelligent Advisor Systems

J.W. Brahan, A.J. Craddock, R.A. Orchard, A.T. Parent, C.S. Phan

Systems with embedded computing and information storage capabilities provide a natural environment for the application of knowledge-based systems technology in support of the user. The use of an "Intelligent Advisor" as an interface between the user and the system offers the potential of introducing the new user to the system and providing assistance to the intermediate and occasional user, as well as providing help to the experienced user in special situations. In response to this

opportunity, NRC, Laval University, the University of Leeds, and SystemOID Inc. are collaborating in the development of an Intelligent Advisor system for general applications. While the goal is a generalizable system, the project is concerned with more than the development of a "Generic Advisor Shell." The objective is to identify and develop basic generic software (the shell) that can support creation and implementation of advisor systems in general and to develop the methodologies for the application of the system to specific domains and user requirements. The project has taken a bottom-up approach in that a specific topic has been identified for demonstration of feasibility and the solution to this specific problem will subsequently be generalized to a wider set of application domains. Work on the project was formally initiated at a meeting of the participants in July 1987 which agreed on the conceptual design of the Advisor and the responsibilities of the participating organizations. The conceptual design phase of database design methodology was identified as the subject of the feasibility demonstration and the database design tool CONSOI-ERM produced by SystemOID will be the target computer-based system.

Activities to date have been largely concerned with the knowledge acquisition process. This has involved identification of the database design concepts, user question–answer protocols, and relation of user questions to concepts. Basic concepts have now been defined by the Laval participants and they are also investigating the question–concept relationships. At NRC, a simulator has been constructed that provides for gathering of question–answer protocols with a human expert serving as an advisor and communicating with the user through a computer link. The user sees the system as it will appear in the prototype implementation. The simulator has been applied to three cases, involving a beginner, intermediate, and advanced user and the data have been provided to the University of Leeds for analysis of the question–answer protocols. Results of this analysis will identify types of questions asked by the user, types of questions that might be asked by the intervention module, and "generic" reasons for experts decisions. The experimental data from the simulator will also serve as a script to investigate the effect of removing semantic identifiers on the ability of the human advisor to generate an effective response as well as to test the various modules of the advisor as they are implemented. The simulator is also intended to serve as the framework for development of the first prototype, with modules being added to the system and used in conjunction with the human advisor until such time as the human advisor can be removed from the loop.

Working papers have been prepared on the various components of the project: domain knowledge, user model, knowledge representation, user interface, simulator question–answerer, plan recogniser, and tutorial module. Each of these documents identifies the issues involved, the methodology, the expected results, and information on the current state of the art as appropriate. An overview paper on the project has also been prepared.

At NRC, a first version of the interface to CONSOI has been developed but implementation is awaiting information from SystemOID on the detailed messages to be sent to the Advisor and the installation of internal changes to CONSOI to permit attachment of the interface. Suggestions during the mid-term review meeting have initiated investigation of an approach that will isolate the interface in such a way that CONSOI will not require further modifications even though major changes are made to the Advisor interface. A structure has been proposed for the user model and some preliminary prototyping has been done using the ART development system. Definition of maintenance rules for the user model is dependent on having more details of the information on the information to be received from CONSOI. Work on knowledge representation will require close cooperation with the University of Leeds and NRC expects to benefit from some of the tools they have developed within the EuroHelp project.

At Laval, extensive work has been done on the definition of the domain content. A prototype intervention module has been developed for use with a database design tool implemented internally on an IBM-PC. The software is written in C and will require conversion or linking to Common LISP to permit integration into the Advisor prototype. The person responsible for the tutorial module is leaving Laval for an extended period and will no longer be available to the project. M.M. Boulet has agreed to undertake this task and to integrate it with the development of the intervention module.

At Leeds, progress has been made on the question–answering module. Phases of work on an Entity-Relationship (ER) modeling problem have been identified. ER concepts have

been defined and "good practice rules" are being defined. The concept of using a predefined problem in the question answering process has been introduced. This provides the Advisor with a specification of the user design goals and possibly some problem-specific semantic information that can be used to generate more complete answers to user questions. It offers the possibility of a "guided practice" mode which could be particularly effective in a tutorial process based on case studies.

Acquisition of domain knowledge and detailed information on the CONSOI interface has required considerably more effort than had been estimated in the original plan. This has had an impact on the other activities and the project has slipped from the original schedule. It is to be noted, however, that given the unknowns at the time the original project plan was prepared, the slippage is not excessive. An interim adjustment was made to the schedule in March at the steering committee meeting that extended the project to August 1990. The status of activities as reported at the mid-term review meeting suggests a further delay. However, it has been decided not to extend the project at this time but to allow for some reduced functionality of the initial prototype. This will provide for "proof of concept" basic design concepts, and the information necessary to decide whether or not to proceed with a full scope prototype.

Engine Health Monitoring

S. Abu-Hakima, P.L. Davidson, M.S. Halasz, C.S. Phan

This project is applying artificial intelligence (AI) techniques to the task of engine health monitoring and fault diagnosis. The project has been undertaken in collaboration with the Engine Laboratory of the Division of Mechanical Engineering and is part of a larger study of engine condition monitoring that is being carried out by that Laboratory for the Department of National Defence.

The condition of engines and other complex machinery is reflected in parameters such as temperature, pressure, power output, noise, fuel and lubricant consumption, physical condition of components, and other general performance measurements. Information to aid in the interpretation of performance parameters can sometimes be found in the equipment log, records of scheduled maintenance and overhaul, component replacement history, maintenance manuals, and the experience of the maintenance technician. The total amount and complexity of the information available are such that only a limited portion of it is used by even the experienced maintenance technician in assessing the condition of a machine or diagnosing a fault.

AI technology offers a means of combining the available knowledge with the data from a particular machine to provide the technician with a means of more effectively applying available information for the assessment of equipment condition. It can guide the technician in the selection of appropriate test procedures, generate a situation assessment based on current test or historical data, and provide continuity for those tasks that involve several work shifts and more than one technician. AI technology can also be applied in the analysis of historical and test-bed data to isolate patterns that can be used to predict equipment failure.

Two activities are currently underway in this project. They are the Jet Engine Troubleshooting Advisor (JETA) and the Transient Data Analysis Modeling Tool.

Diagnosis — Jet Engine Troubleshooting Advisor

As of June 1988, the primary focus of the work on this project has been the implementation of a diagnostic and trouble shooting advisor for the maintenance and repair of jet engines. A generalized approach to the problem of engine maintenance has been taken by implementing a diagnostic shell, rather than simply focusing on a single application engine advisor.

This diagnostic shell is currently being applied to acceleration problems that occur for the J85 jet engine and will be applied in future to jet engine problems that occur on other aircraft (for example, the F404 engine). The diagnostic knowledge for this problem has been acquired by working very closely with the J85 experts at the Engine Laboratory. The team consists of four developers: the first has acquired the J85 knowledge from experts at the Engine Laboratory including an expert technician (who has ~20 years of J85 maintenance experience); the second has implemented the shell's reasoning algorithm under ART — a LISP-based tool that runs on the Sun and Symbolics workstations; the third has implemented the user interface to the shell; and the fourth has been involved in the detailed design and implementation of

the knowledge representation for the shell. A prototype of the JETA for a subset (120 nodes, i.e., snags, major faults, test and repair procedures) of the J85 acceleration faults was demonstrated in mid-December 1988.

The activities planned for 89/90 include a field trial of the system at DME's Engine Laboratory and the Canadian Air Force Base at Cold Lake, Alberta. Extensions to the system include the implementation of a realtime sensor monitoring component. This will enable JETA to receive sensor input from a test-cell-mounted engine and diagnose its faults.

Transient Data Analysis Modeling Tool

A second activity under the EHM project was started in September 1988 — the investigation of machine learning techniques as an aid in the interpretation and diagnosis of fault data read from sensors attached to a jet engine. Faults are placed on the jet engine in a test cell at the Engine Laboratory and sensor data runs are recorded. The runs measure up to 15 engine parameters (e.g., fuel flow, speed, temperature, thrust) for various time intervals. Traditionally, the runs are plotted and studied at the Engine Laboratory to find relations between the data and the faults. Machine learning techniques that cluster and correlate the measured performance parameters are being applied by DEE. The clustering is intended to identify rules that describe the fault-parameter behavior during a test run. These rules are then combined into a diagnostic program that can take a data run as input and output an interpretation of that run. This interpretation is intended to identify any deviant engine behavior as well as the reasons for identifying this behavior. This information is then input to the J85 JETA program to further isolate and troubleshoot the fault.

The first step in this work has involved identification of the rules for the fault-parameter deviant behavior. This was accomplished by inputting the data runs to the learning algorithm. Thus far, faults and rule sets that describe the performance parameters under these faults have been identified. Currently these rule sets are being combined into a diagnostic program. When a data run is input to the program, a fault or no-fault diagnosis will be output with indicators as to why a fault condition is believed to exist. If the program fails to make a diagnosis of fault or no-fault, it will instead indicate to the user why it cannot make a decision on the data run it has been presented with. The study has been successful to date. The reaction of the staff who traditionally analyze the data at the Engine Laboratory has been positive and they are providing more data runs. These runs will be used to improve the rules in the diagnosis algorithm. A preliminary demonstration and evaluation of the first algorithm was completed in December 1988.

Recent Papers

Published

Abu-Hakima, S. RATIONALE: A tool that reasons explicitly for the purpose of explanation. Proceedings of the AAAI '88 Workshop on Explanation, St. Paul, MN. August 22, 1988. pp. 26–29. NRC 29286.

Abu-Hakima, S., Davidson, P., Halasz, M., and Phan, S. JETA: the Jet Engine Technical Advisor. Proceedings of the First Expert Systems Applications Workshop at RMC, Kingston, Ont. March 2–3, 1989. pp. 138–144. NRC 30036.

Buck, L. What is ergonomics and what can it do for transportation? Proceedings of the Seminar in Transportation Ergonomics, Montreal, P.Q. October 14, 1987. Published by the Transportation Development Centre. August 1988. pp. 9–33. NRC 30656.

Buck, L., and Turpin, B.A. Comparing two methods of informing operators what might happen next. Ergonomics, 31(2): 161–171; 1988. NRC 30657.

Buck, L., and Turpin, B.A. Text editing with a formatting utility. Proceedings of the 21st Annual Conference of the Human Factors Association of Canada, Edmonton, Alta. September 17, 1988. pp. 191–194. NRC 30693.

Bumbaca, F. Intelligent computer-assisted instruction: a theoretical framework. Int. J. Man-Machine Studies, 29: 227–255; 1988. NRC 30318.

Heron, R.M., and Buck, L. (Editors). Proceedings of the Seminar in Transportation Ergonomics, Montreal, P.Q. October 14, 1987. Published by the Transportation Development Centre, Montreal, P.Q. August 1988.

LoVetri, J., and Abu-Hakima, S. Applying expert system techniques to the electromagnetic hardening domain. Proceedings of the Technical Liaison Group on Electromagnetic Hardening Problems, Ottawa, Ont. September 27–29, 1988. NRC 30050.

Phan, C.S., and Henneker, W.H. A Specification for the NATAL Symbolic Instruction Language. NRC/ERB-1018. January 1989. 101 pages. NRC 29957.

Vernadat, F. Engineering information systems: a tutorial. Proceedings of the 4th International Conference on Systems Research, Informatics, and

Cybernetics, Baden-Baden, Federal Republic of Germany. August 15–21, 1988. NRC 29511.

Vernadat, F. Which way for the fourth-generation? Can. Datasyst. 20(6): 69–75; 1988. NRC 28293.

Presented

Abu-Hakima, S. Applying statistical analysis techniques to improve the accuracy and reliability of learned hypotheses. Machine Learning Seminar, Carleton University, Ottawa, Ont. March 22, 1989.

Brahan, J.W. Applied artificial intelligence: potential for industry. 75th Annual Meeting of the Technical Section CPPA, Montreal, P.Q. February 2, 1989. CNRC 29975.

Davidson, P. Machinery health monitoring. CANMET Symposium, Timmons, Ont., November 22–23, 1988.

Henneker, W.H., and Orchard, R.A. Automated Reasoning Tool (ART) — Part 1. A course presented to personnel of the National Research Council, Ottawa, Ont. August 11–15, 1987: October 5–9, 1987.

Photonics and Sensors Section

Head — J. Domey

Introduction

The goal of the research activities in the Photonics and Sensors Section is to discover new measurement principles and develop sensor systems that combine optical, electronic, and information-processing techniques. Industrial automation is the primary goal of the activities, but the generic techniques developed have been applied in a number of fields, including sensors for aviation, guidance of arc-welding robots, inspection of printed circuits, and reproduction of three-dimensional (3-D) objects.

Work on 3-D vision, over the past year, has focused on the production of 3-D image data files, designed as a tool for researchers seeking to develop 3-D vision software, as well as on the demonstration of high-precision inspection techniques. Techniques for improving the dynamic range in intensity have been demonstrated and installed on a 3-D vision sensor, thus significantly boosting performance. The design of a 3-D sensor operating at video rate was completed and the first prototype will soon be operational. The BIRIS 3-D sensor technique was also demonstrated for medium-range panoramic measurements applicable to mobile robots. There was also an increased effort to develop interpretive software for 3-D images, as well as to implement them in hardware for producing real-time 3-D vision systems. Initial efforts have emphasized the segmentation of 3-D images — a key step in achieving a large number of 3-D vision applications.

Work on photonic components has resulted in the production of a laser and a position sensor, operating at a wavelength of 1.5 µm, which is considered eye-safe. This complies with the overall goal of making 3-D sensors safe. The study of optical sensor techniques and optical signal processing has resulted in such achievements as a new phase demodulation technique for nonlinear materials, the demonstration of a titanium-doped sapphire laser, and the evaluation of new types of multi-layer waveguides.

Joint efforts with industry have allowed the transferring of technology that was perfected in DEE laboratories, and, in certain cases, working together in studying certain areas of common interest. Various universities are also collaborating on 3-D vision research and photonic components.

3-D Vision

3-D Image Data Files

M. Rioux

The latest laboratory-developed 3-D camera prototype, the multiple-measurement-volume 3-D camera, described in the *Bulletin*, 3(2), has been used to create 3-D image data files grouped in four chapters of about 50 images each.

The intended objective has been to provide scientists and computer experts with a tool for developing 3-D image interpretation software. These data are available to any interested researcher in binary or ASCII format. Detailed information on such images is provided free of charge in a publication, *NRCC Three-dimensional Image Data Files* (NRC 29077).

During the course of the work, several 3-D image display techniques were studied. Figure 1 illustrates a few. These photographs show different types of display based on a single 3-D acquisition (*x*, *y*, *z*, and *l*). The first three coordinates represent the spacial position of an element on the surface of the object, while *l*, the other coordinate, is proportional to its reflectivity, among other things.

All of the coordinates obtained from a particular acquisition appear in photographs (g) and (h). Coordinates *x*, *y*, and *z* appear in photograph (g). The *z* values (height or distance) are coded in grey levels. Coordinates *x*, *y*, and *l* appear in photograph (h). The *l* values in registration with the *z* values are proportional to the reflectivity of the object in the scene (essentially a photograph of the scene at the wavelength of the laser). Distance and intensity information can be combined within a single view (as illustrated in (k) and (l)). This is a stereoscopic front view generated from the data illustrated in (g) and (h). It should be noted that stereoscopic views can be generated from above, from below, or even from the side, using the same data file (*x*, *y*, *z*, and *l*). Photographs (e) and (f) also provide a stereoscopic view in which only *x*, *y*, and *z* were used (*l* values were not employed). Shadows were produced by deriving distance data according to the *x* axis. Processing the data in this manner increases the stereoscopic effect

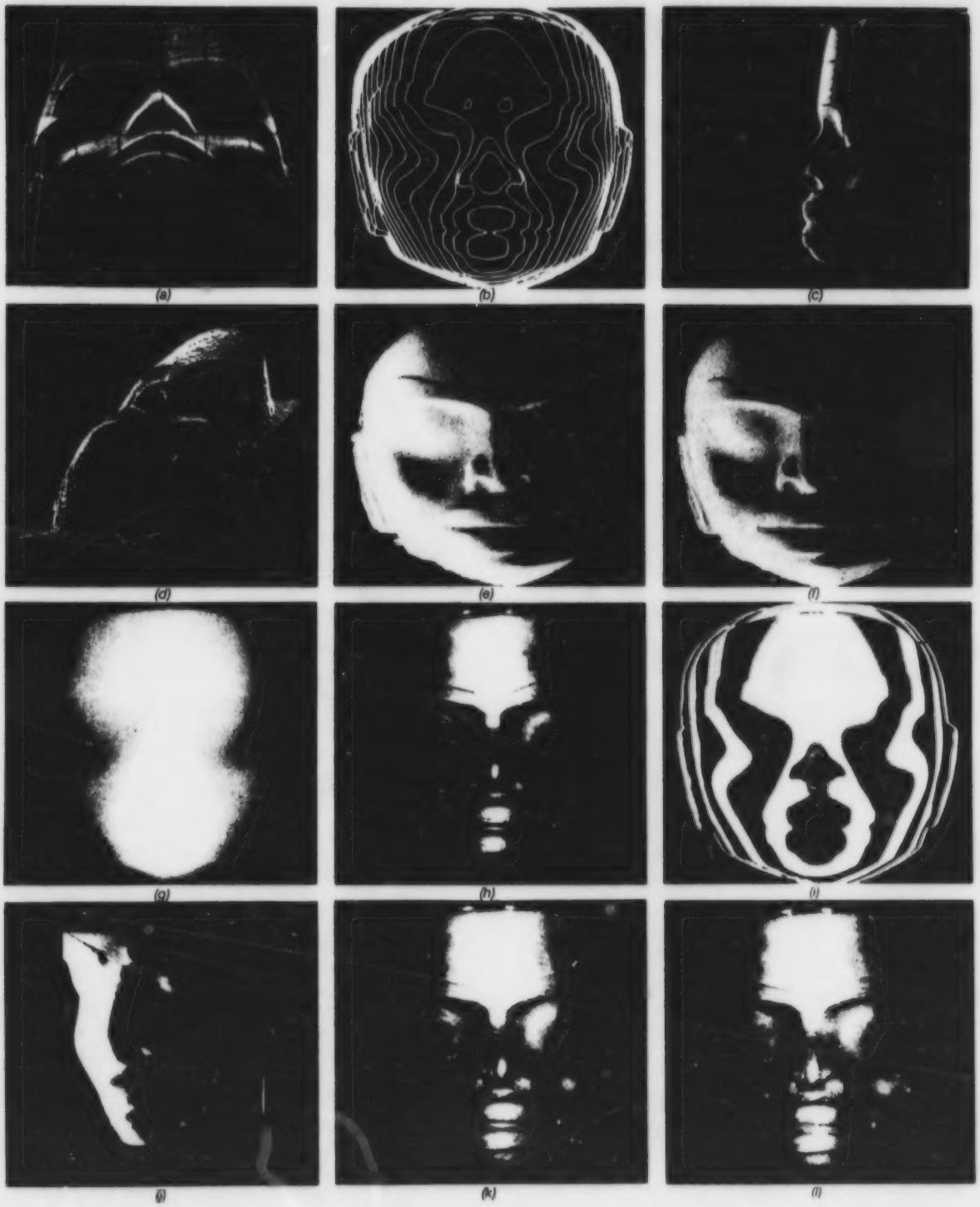


Figure 1. 3-D display techniques.

by revealing surface details. The other photographs provide different representations of the *x*, *y*, and *z* file. Photograph (b) shows contour lines representing equivalent elevations (similar topographic maps). Photograph (i) applies similar principles to a color coding of the elevation data. In photograph (j), a "rendering" software has been used to generate a "synthetic" photograph of the 3-D data (there are three light sources according to three different orientations). Photograph (d) displays a wire mesh representation in which the hidden lines have been removed. Photographs (a) and (c) show two different isometric views.

Dimensional Inspection

M. Rioux

Two comparative measurements were made on cast metal parts used in automobile manufacture.[1] The 3-D measurement system allowed featuring of differences on the order of about 5 µm. Figure 2 includes the photographs displaying the experimental results.

It should be noted that the differences measured between the two parts are less than the acquisition noise of the pixels that make up the image. This was due to image filtering techniques that considerably reduced acquisition noise.

Speckle Noise

R. Baribeau,[2] M. Rioux

As part of the cooperative agreement with Servo-Robot Inc., an analysis of speckle noise on 3-D measurements was conducted using a synchronized scanning system. A model was developed for predicting the importance of this noise on different configurations. These studies revealed comparative advantages of synchronized scanning

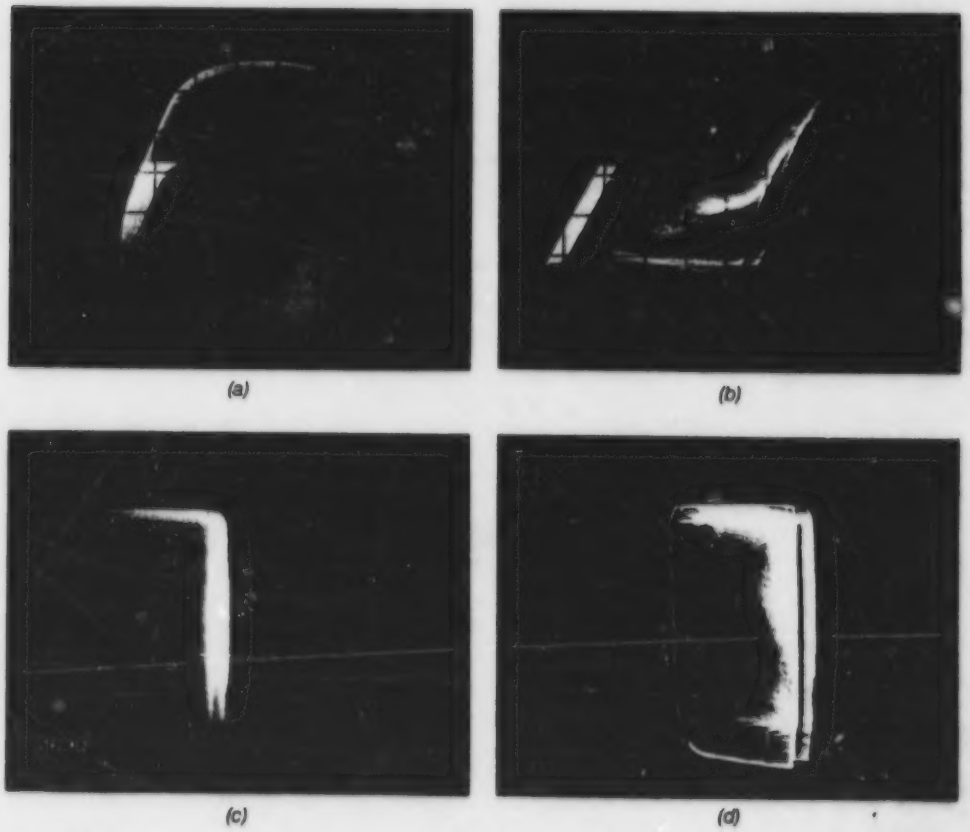


Figure 2. (a) 3-D acquisition data for an initial object; (b) the difference between a second object (which is similar to the first) and the one which appears in (a); (c) the same difference data represented in grey levels; (d) derivatives of the difference data which illustrate the measurement noise as well as deformations associated with manufacturing techniques for the part.

[1] This work was partially carried out under a contract for Hymarc Ltd.

[2] Guest worker.

techniques such as the improvement of measurements through spacial integration. This is because spacial integration is not an effective system for conventional configurations, since speckle patterns are stable on sensor elements (typically Charge Coupled Devides (CCD)). This is so regardless of the features of the laser projection system.

3-D Camera Lenses

M. Rioux

Four lenses were developed in conjunction with the Xian Optical Institute (China). Three scientists from this institute, using a software package developed by I. Powell from the Division of Physics, were responsible for the optical and mechanical design of lenses optimized for the three 3-D prototype cameras developed in DEE laboratories. Two of these lenses will be integrated into the multiple-measurement-volume system. Another allows an increase in the *x*-frame camera resolution.

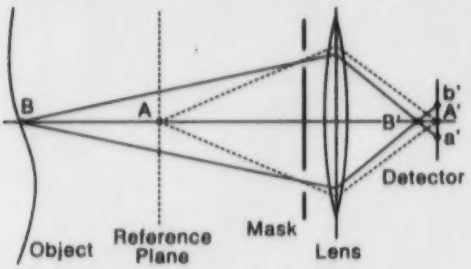


Figure 3. The basic BIRIS principle for measuring distances.

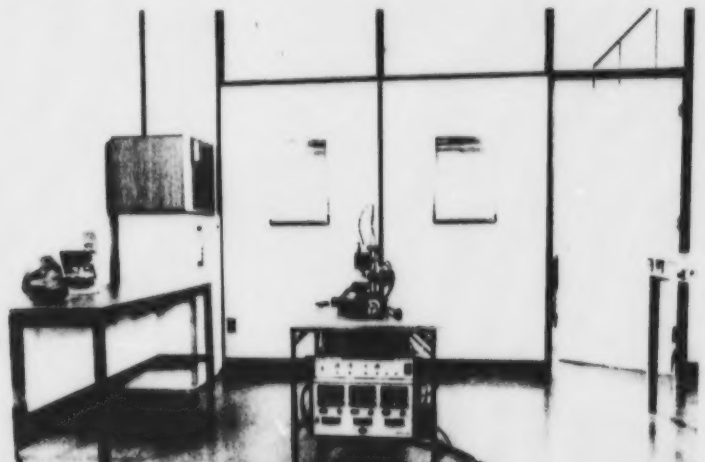


Figure 4. An experimental set-up for evaluating BIRIS in mobile robotic applications.

Finally, a very compact lens with much higher performance than conventional lenses will significantly increase the effectiveness of BIRIS. These lenses are the subjects of pending patents.

Active BIRIS Applied to Mobile Robots

F. Blais, J. Domey, M. Rioux

The use by a mobile robot system of a 3-D measurement system is an important development in obstacle location, detection, and guidance. With respect to the autonomous mobile platform project initiated by the Computing Technology Section and the Medical Engineering Section, this Section has undertaken an evaluation of the BIRIS sensor for indoor navigational applications. Because of its very small physical dimensions and its very robust mechanical properties, this sensor has substantial potential for such applications.

Figure 3 represents the basic sensor principle for measurements of distances ranging from 0.5 to 4 m. In contrast with previously demonstrated control applications, the plane of reference is located in front of the scene. Separation between b' points measured on the light sensor is in direct proportion to the distance of the measured object. Figure 4 represents the prototype used in evaluation, while Figs. 5(a) and (b) illustrate the experimental results obtained.

Galvanometer Controller — Excitation Optimizer

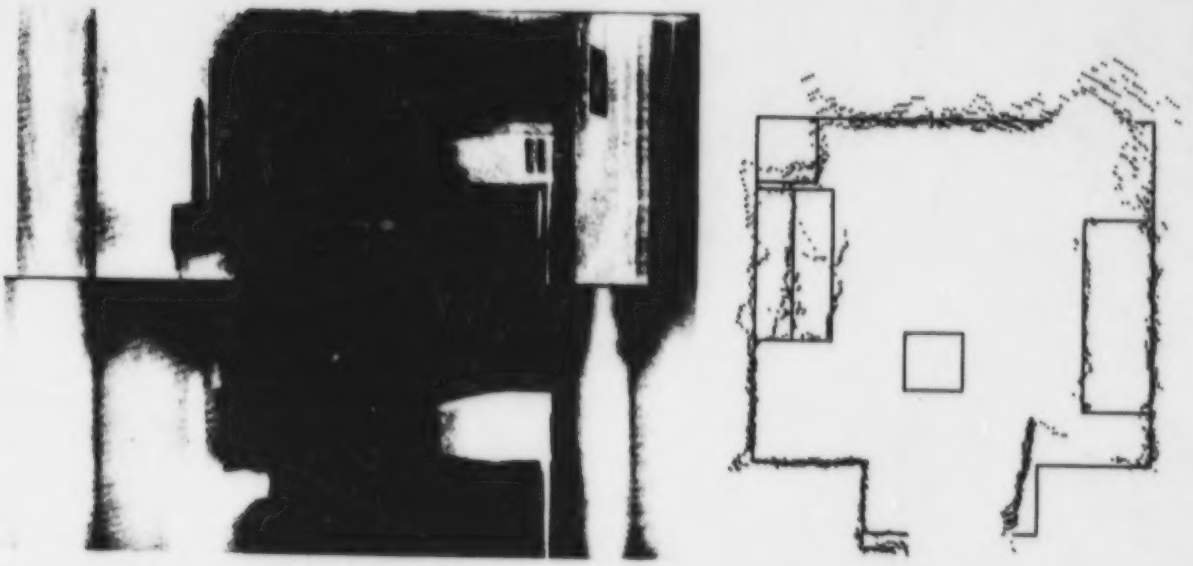
F. Blais

An adaptive system of galvanometer control is currently being developed. A high-speed processor (DSP) is used to modify excitation of the galvanometer so that the response to such excitation will correspond with the desired selection. The error between the desired excitation and the real response of the galvanometer is used to correct the excitation signal. An internal DSP model galvanometer weighs the correction signal and stabilizes algorithmic convergence. Since the system is auto-adaptive, compensation can automatically be made for any change in the galvanometer's physical characteristics.

Extension of the Dynamic Range of Active Range Finders

F. Blais, J.-A. Beraldin

The range of accuracy of most 3-D sensors is adversely affected by large variations in the received light intensity. The dynamic range



(a) (b)

Figure 5. (a) Panoramic views obtained by rotating the sensor 360° around its axis. (Top, the image in intensity; bottom, the 3-D image, with intensity being in direct proportion to the distance of the object from the sensor); (b) the reconstruction of the depth map.

of certain scenes typically extends over six orders of magnitude. Research work on techniques capable of extending the dynamic range of active range finders has resulted in the demonstration of two complementary techniques. Both techniques are aimed at 3-D sensors that use a solid state line scanner arranged as a linear array of photodetectors (e.g., CCDs). The first system controls the laser diode source in such a way that the saturation exposure on each photodetector in the linear array is never exceeded. The system has demonstrated on a range finder an increase of the dynamic range by a minimum factor of 100, but in a simulated environment, the circuit itself has shown that a factor of 1000 is achievable.

An electronic circuit was also developed to use the full CCD dynamic range. Although the prior system made it possible to reduce laser power from the source in order to prevent sensor saturation, this circuit automatically adjusts the gain of the system and deducts the fixed spacial noise that is primarily associated with variations in the dark current of the light sensitive elements of the sensor. While this system remains compatible with current 8-bit ones, an analog to digital conversion was obtained that was equivalent to 14 bits at a 10 MHz rate. Moreover, a 500:1 dynamic range of intensity was measured without CCD saturation (1000:1 with saturation). This system was incorporated in the 3-D multiple-measurement-volume system (cf. *Bulletin*, 3(2)).

The use of bi-cells with the high-precision galvanometer controller developed for the synchronized scanning camera was also studied. The use of synchronization phototransistors serves to compensate for errors resulting from galvanometric scanning and improper alignment. The use of bi-cells makes it possible to desensitize the system to variations in intensity of the source laser, while increasing the accuracy of the measurements and the stability of the controller.

Video Rate 3-D Camera

J.-A. Beraldin, F. Blais, M. Rioux

The investigation of a video rate 3-D sensor, started a few years ago, has resulted in the development of a prototype 3-D camera compatible with the RS-170 industry standard used in most video processing hardware (e.g., frame grabber). The first images should be available by the summer of 1989.

The experience gained over the years has allowed design and specification of the various optical, mechanical, and electronic components of this camera. The camera is based on triangulation and uses the patented synchronized scanning approach. It is composed of the following elements: a solid state laser source, a horizontal and vertical

scanner, a position sensor, and a circuit generating the RS-170 signal. The camera is equipped with a laser diode emitting at a wavelength of 820 nm. The laser diode power is adjustable with a maximum of up to 400 mW on the scene. A rotating polygonal mirror coupled to a high-speed ac hysteresis synchronous motor accomplishes the horizontal scanning of the scene at a rate of 15 750 lines per second. The vertical deflection is achieved by a compensated galvanometer nodding at 60 Hz. The circuit and algorithms realizing the compensation were developed in our laboratories. The position sensor is composed of a custom-made lateral effect photodiode, video digitizers, and a computational unit delivering the intensity and position information simultaneously at 10×10^6 samples per second (see *Bulletin*, 3(2)). These two signals are combined with the necessary synchronization waveforms to form two separate RS-170 compatible video signals.

The volume of measurement for this prototype camera will be 5 cm × 5 cm × 5 cm. The targeted vertical resolution is 400 lines, each line having a resolution of 512 pixels. The depth accuracy with the present computational unit will vary between 32 and 128 levels depending on the intensity of the light reflected from the scene. A full image will be available every 1/30 s. This frame rate corresponds to a scanned area of 750 cm^2 every second.

Computer Graphic Animation

M. Rioux

In association with the University of Quebec in Hull, a project was launched in which a human character is digitized and then computer animated. There are two main objectives to this work. The first involves synthesizing facial expressions during speech based on various 3-D recordings. The second consists of synthesizing the subject's movements based on an acquisition of the entire person, from head to foot, over 360°. In order to increase the realism of the computer graphic representation, 3-D acquisitions were accompanied by intensity information in registration.

Interpretation of 3-D Range Images

Heuristic Procedure for Segmentation

N. Abdelmalek

A heuristic procedure for the segmentation of 3-D range images has been presented. The range image is coarsely segmented into convex, concave, and flat patches using curvature sign labelling at each surface point. The jump edges are then imposed on the coarsely segmented image, resulting in the initial image segmentation. Next, the boundary points between adjacent surface patches are examined for the purpose of merging compatible patches. A boundary point between patches, which is not on a jump edge, must belong to a crease or to a ridge line. This is detected by the presence of a large local norm of the residuals for an approximating plane on a window surrounding the boundary point. The present method is expected to be faster than many existing methods.

Algebraic Error Analysis for Surface Curvatures and Segmentation

N. Abdelmalek

A method of calculating the surface curvatures of 3-D range images using differential geometry and approximation theory has been given and an algebraic error analysis for the calculated curvatures presented. Upper bounds for the curvature error terms are obtained in terms of the window size used in the curvature calculation and of the noise standard deviation. Automatic threshold values for the calculated curvatures are calculated. The error analysis results are used to illustrate the effect of noise on the segmentation results using curvature sign labels. A segmentation procedure for 3-D range images using a 3-sign label scheme has been proposed and experimental results have been obtained.

Depth Image Segmentation

P. Boulanger

The segmentation process through classification of mean and Gaussian curvatures consists of grouping pixels according to common characteristics such as intensity and height. Such groupings can subsequently be symbolized at a higher level of interpretation.

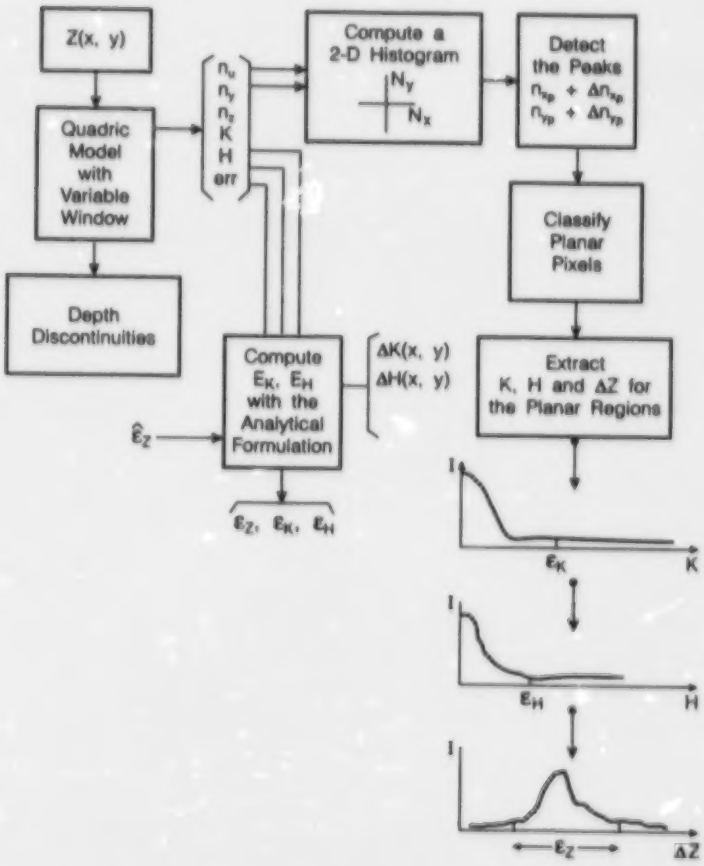
In order to facilitate the interpretive process for higher levels, the following quality criteria are employed in achieving this segmentation: lack of variability from the observer's point of view, immunity to noise, and multi-level description.

A depth image segmentation technique to respond to these criteria has been developed. It uses invariants of surface, such as mean curvature (H) and Gaussian curvature (K), as classifiers. The technique consists of classifying the various regions of the depth map into

eight surface types according to the indications of the Gaussian and mean curvatures.

Several problems are involved in calculating these curvatures. The most significant is sensitivity to noise. A regulation technique for resolving this problem based on the label relaxation method has been developed. It consists of validating a label only if its immediate neighbors optimize a certain criterion of local consistency. A second method involves the use of quadratic windows of varying sizes for calculating the curvature in a less local manner, while maintaining the resolution of the depth and orientation discontinuities. The program block diagram appears in Figure 6.

Figure 6. Block diagram of the calculation module of geometric parameters.



[1]Student.

[2]École polytechnique de Montréal, Montreal, Quebec.

[3]Temporary assistant.

Discontinuity Detection

P. Boulanger

Orientation and depth discontinuities are key structures and should be the first to be measured. A depth discontinuity is essentially an abrupt variation in the depth at a particular point. An orientation discontinuity corresponds to an abrupt deviation of the surface normals.

Their detection is required to confine calculations of geometric properties to uniform regions. Several methods have been developed to detect these discontinuities and include the zero crossing of the Laplacian and the morphologic filter. Morphologic methods have seemed the most promising to the present.

Working Environment for Analyzing Depth Images

P. Boulanger, J.P. Cormier[1]

During the course of the year, a working environment in a graphic work station (Micro VAX II GPX) was developed which permits the display and manipulation of depth images.

Among other things, the following functions were implemented: interactive histograms, displays (such as isometrics, shadowing, contour lines), interactive modification of the "look up" table, zoom system, interactive processing call for images, and APL interface for image manipulation.

Scale Space for the Curvature

P. Boulanger, M. Cung[2]

The mathematical properties of the scale space technique for the multi-resolution calculation of mean and Gaussian curvatures were studied. Among other things, the effect of Gaussian filtration on curvature parameters was studied by postulating a polynomial surface of order *n*. With these calculations analytical expressions of these variations were obtained and the properties of this scale space better understood.

Associative Memories

E. Porada,[3] M. Rioux, P. Boulanger

Theoretical studies pertaining to associative memories were conducted. This technique for 3-D scenes is now being evaluated. The algorithms developed have the special feature of being able to self-learn scenes. It also seems that this technique can be achieved using relatively simple optical arrangements.

Photonic Components for Industrial Inspection, Data Processing, and Sensing

Photonics is the technology of generating and using light in detection, diagnostics, communications, and information systems. It covers light sources, fiber optics, electro-optical and optical instrumentation. Photonic systems offer many advantages and possibilities in a variety of systems that currently use electrical signals, as the merits of laser-based devices become recognized and the cost of components decreases. Major applications like Space Station, oil exploration, and military projects rely on fiber-optic systems for both performance and safety. The Photonics and Sensors Section has an on-going program in the area.

Eye-Safe 3-D Laser Camera Development

M.S. O'Sullivan, P. Maigné, J. Chrostowski

An increase in speed of image acquisition in laser-based systems is often linked with an increase in the power of the laser. The eye safety of a laser camera becomes, at a certain power level, a major concern. One solution to this speed/laser power problem is to shift the laser operating wavelength to the eye-safe region of 1.5 µm. Eye-safe measurements are possible at 1.5 µm since in that region eye damage occurs at power levels which are 300 times greater than in the visible. A laser intensity at the eye of 10 mW/cm^2, which is typical of presently used ranging systems, is only at 1/10 of the threshold for eye damage.

Development of lasers and position sensors in this region was initiated two years ago. Both a high-power fiber laser and a lateral effect photodiode on InGaAs have been successfully developed. They will soon be integrated into the laser scanner.

Fiber Laser

M.S. O'Sullivan, J. Chrostowski

An Er^{3+}-doped single mode fiber obtained from AT&T Bell Laboratories was used to build a 1.5 µm laser designed for high-cw output powers. Figure 7 shows the prototype pumped by the 514.5 nm line of an Ar^{2+} laser. A maximum output power of 56 mW at 300 K has been obtained which can be improved to 90 mW by cooling to 77 K.

[1]Guest worker.

1.5 µm Position Photodetector

P. Maigné

A position photodetector, based on the photolateral effect, was designed, manufactured, and tested. Samples received were 1 cm long and 200 µm wide. The design involves semiconductor materials: indium phosphide and gallium indium arsenides. The latter is sensitive to a wavelength of 1.5 µm. Photodetector performance was optimized by modifying the following parameters: resolution, linearity of the output signal, sensitivity, and response time.

A set of 42 prototypes was manufactured under contract by RCA Inc. Their performances were evaluated in our laboratories and judged to be quite satisfactory. Resolution was 50 Å/$\sqrt{Hz}$ for an incident power of 50 µW. The output signal is linear as a function of the incident beam position (linearity coefficient = 0.15), with uniform sensitivity of 0.75 A/W throughout the photodetector. Finally, frequency response was 7 MHz. Electrical and structural properties were also evaluated. A set of operational detectors was received at the end of March 1989.

Optical Signal Processing and Wave Mixing

S.A. Boothroyd, J. Chrostowski, M.S. O'Sullivan, N. Peereboom,[1] L. Chan[1]

Modern radar, telecommunications, sonar, radio astronomy, and robotics all use complex signal processing extensively. Multichannel analysis, in particular space–time signal processing, improves speed and performance of such systems. Optical signal processing offers inherent parallelism of large 2-D databases in real time. The ease with which optical processors perform a number of integral mathematical functions makes them especially attractive for image processing and microwave technology, although in other cases digital computers and electronic analog devices still provide better performance.

Electro-optical systems have a distinct place in two groups of tasks. The first consists of problems which, because of the large amount of data involved and the speed at which it must be processed, are difficult to solve using only electronic methods. Optical processors are very good in such high-speed, large-volume problems; in fact, the only limitation is the input–output data rates rather than the internal speed of the processors. Secondly, there are problems that can

Figure 7. Prototype of the 1.5 μm fiber laser.

be solved by traditional electronic means as well as by optical ones, but major requirements are simplicity, high cost, or compactness. Various electro-optic systems, notably spectral analyzers and correlators, have been developed and are being used.

Recent attention has been focused on nonlinear optical signal processing, which holds real promise for image amplification, phase conjugation, and associative memories. The nonlinear interaction of laser light in a wide range of media enables new beams to be generated, energy transfer between beams, and both analog and digital optical processing to be performed. Efforts in this field include two- and four-wave mixing in highly nonlinear saturable and photorefractive media.

Two-wave mixing in acridine and fluorescein dye doped glasses has been investigated and a novel phase demodulator proposed. The strength of the two-wave mixing interaction in the saturable absorbers depends on the frequency difference between the beams. A scheme for 3-D imaging of arbitrary wavefronts has been considered where depth information in a scene is transduced through two-wave mixing in a chirped pulse arrangement to an intensity variation. The nonlinear glasses studied have low saturation intensities and are easily fabricated to enable high numerical aperture systems to be constructed for operation in the visible. Four-wave mixing phase conjugation (*Bulletin*, 3(2)) is attractive for parallel image processing where, among others, image subtraction and correlation and convolution functions can be undertaken. This work is being extended to near-infrared wavelengths through the photorefractive effect in gallium arsenide and indium phosphide.

A titanium-doped sapphire laser has been developed to provide a convenient tunable source in the near infrared to facilitate nonlinear mixing experiments and provide a light source for the investigation of other photonic components.

Holographic optical elements play an important role in the development of various optical systems. In particular they are very useful as interconnects in VLSIs and addressing of spatial light modulators. A preliminary study suggests that computer-generated

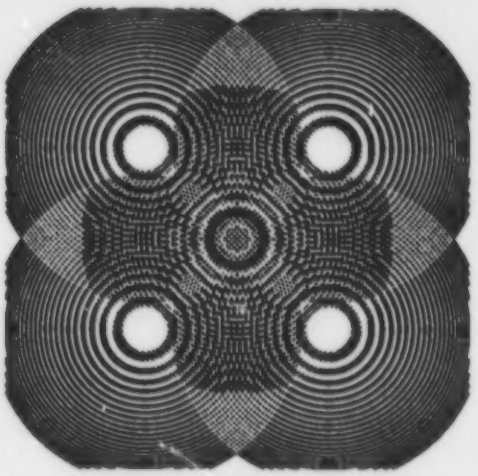


Figure 8. Fresnel zone plate at 0.633 μm wavelength, points located 3.16 m away from hologram.

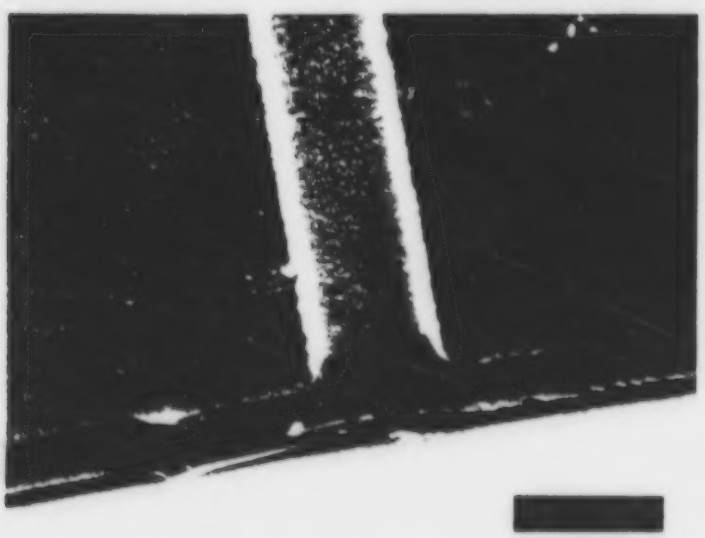


Figure 9. Electron microscope photograph of an ARROW waveguide.

holograms patterned with direct laser writing on the silicon substrate should be adequate as preprogrammed interconnects for matched filters and associative memories. Figure 8 shows an example of a computer-generated hologram.

Optical Waveguides for Sensing and Optical Telecommunications

J. Chrostowski, W. Jiang,[1] S. Yuen,[1] M. Wartak[1]

The work on various waveguides continued through the collaboration with the Telecommunications Research Institute of Ontario (TRIO), the University of Ottawa, and Carleton University. The project aims at ultrafast photonic networks offering capability of self-routing. In particular, work on optical interconnects on silicon, compatible with VLSI electronics, was focused this year on a new, very interesting multilayer waveguide structures: ARROW (Antiresonant Reflecting Optical Waveguide) (Fig. 9). These will serve as basis for correlators and switches for future implementation of self-routing algorithms. Preliminary work started on evaluation of organic materials for this purpose.

[1]Guest worker.

Electric Field and High Pressure Sensors

J. Chrostowski, W. Bock,[1] H. Kopola,[1] C. Bing[1]

Work continued (*Bulletin*, 3(1)) on the next generation of photonic probes for sensing electric field transients. These projects are being conducted in collaboration with the Department of Electrical Engineering of the University of Ottawa and the Avionics Division of Canadian Marconi Company.

The collaboration with the University of Quebec in Hull on the development of the high-pressure (1000 atm) sensor led to the first prototype of a fiber-optic feedthrough to the high-pressure chamber. This element is the most critical component of the group of sensors in such an environment. It is being extensively tested at the High Pressure Laboratory of the University of Quebec in Hull and is the subject of a pending patent.

Characterizing the Structure of Superlattices through X-Ray Diffraction

P. Maigné

Superlattices are some of the more promising materials involved in optical information processing. They are created from the regular overlapping of semiconductor materials with thicknesses on the order of 10 nm. Optoelectronic properties are thus a function of structural parameters. X-ray diffraction and the development of modeling programs has enabled us, in conjunction with the Laboratory for Microstructural Sciences, to study the effects of increasing the thickness of InGaAs/GaAs superlattices on crystallographic quality and thus on the performance of these materials. It was possible to more precisely determine relaxation mechanisms in the vicinity of the critical thickness and to demonstrate that the minimum critical thickness below which the crystallographic quality of the structure is excellent may be extended to higher limits by using wafers that are cut in a special crystallographic direction.

Exotic Materials Polishing Facility

J. Chrostowksi, A. Dufour

The three-year-old facility consists of ultra-high-quality versatile "Logitech" polishing equipment which allows polishing of crystals, laser rods, and fibers in various fixtures and shapes. It is located in a clean room with fume exhaust which is necessary, in particular, for the preparation of thin and ultra-thin semiconductor wafers. The main areas of interest include laser rods, electro-optic crystals, and fiber-optic components. Examples of the work performed last year include polishing of titanium-doped sapphire, bismuth germanate, lithium niobate for the University of Ottawa, and silicon waveguides for TRIO.

Recent Papers

Published

Abdelmalek, N.N. A global system for matching 3-D range data objects. Proceedings of Vision Interface '88, Edmonton, Alta. June 6–10, 1988. pp. 129–134. NRC 29848. *Reprinted as* Experimental results for matching 3-D range data objects based on a statistical approach, *in* "Computer Vision and Shape Recognition," Series in Computer Science, Vol. 14. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore. 1989. pp. 371–395. NRC 30407.

Beaulieu, J.M., and Boulanger, P. Segmentation of range images by piecewise approximation with shape constraints. Proceedings of Vision Interface '88, Edmonton, Alta. June 6–10, 1988. pp. 19–24. NRC 29532. *Reprinted in* "Computer Vision and Shape Recognition," Series in Computer Science, Vol. 14. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore. 1989. pp. 87–98. NRC 30405.

Beraldin, J.A., and Steenaart, W. Overflow analysis of a fixed-point implementation of the Goertzel algorithm. IEEE Trans. Circuits Syst. CS-36(2): 322–324; 1989.

Beraldin, J.A., Steenaart, W., and Aboulnasr, T. Efficient one-dimensional systolic array realization of the discrete Fourier transform. IEEE Trans. Circuits Syst. CS-36(1): 95–100; 1989.

Beraldin, J.-A., and Blais, F. Extension of the dynamic range of active laser range finders. Proceedings of SPIE, Optics, Illumination and Image Sensing for Machine Vision III. Cambridge, MA. November 6–11, 1988. Vol. 1005. pp. 164–168. NRC 29483.

Blais, F., Rioux, M., and Beraldin, J.A. Practical considerations for a design of a high precision 3-D laser scanner system. Proceedings of SPIE, Vol. 959, June 28–29, 1988. pp. 225–246. NRC 29202.

Blais, F., Rioux, M., Domey, J., and Beraldin, J.A. A very compact real time 3-D sensor for mobile robot applications. Proceedings of SPIE, Vol. 1007, Mobile Robots III, Cambridge, MA. November 6–11, 1988. pp. 330–338. NRC 29484.

Bock, W. J., and Chrostowski, J. High-pressure fibre-optic leadthrough system. J. Phys. E: Sci. Instrum. 21: 839–841; 1988. NRC 28819. *Reprinted in* Eng. Opt. Nov.: 509–510; 1988. NRC 30665.

Boothroyd, S.A., Chrostowski, J., and O'Sullivan, M.S. Two-wave mixing in saturable absorbers and ranging applications. Topical Meeting on Optical Properties of Materials, 1988 Technical Digest Series, Vol. 9 (Optical Society of America, Washington, DC, 1988). pp. 73–76. NRC 29140.

Boothroyd, S.A., Chrostowski, J., and O'Sullivan, M.S. Two-wave mixing via phase and absorption gratings in saturable absorbers. J. Opt. Soc. Am. B, 4(6): 766–771; 1989. NRC 29851.

Boulanger, P. Label relaxation technique for stable estimation of a topographic primal sketch. Proceedings of Vision Interface '88, Edmonton, Alta. June 6–10, 1988. pp. 158–162. NRC 29533. *Reprinted in* "Computer Vision and Shape Recognition," Series in Computer Science, Vol. 14. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore. 1989. pp. 417–428. NRC 30406.

Boulanger, P., and Cohen, P. Stable estimation of a topographic primal sketch for range image interpretation. IAPR Workshop on Computer Vision, Tokyo, Japan. October 12–14, 1988. pp. 436–440. NRC 29536.

Boulanger, P., Rioux, M., Taylor, J., and Livingstone, F. Automatic replication and recording of museum artifacts. Proceedings of the 12th International Symposium on the Conservation and Restoration of Cultural Property, Tokyo, Japan. September 29 – October 1, 1988. pp. 131–147. NRC 29534.

Domey, J., and Rioux J. Three-dimensional vision sensors and their potential applications in mining automation. Proceedings of the 3rd Canadian Symposium on Mining Automation, Montreal, P.Q. September 15–16, 1988. pp. 187–193. NRC 29321.

Domey, J., and Rioux, M. Three-dimensional vision sensors for automation. Proceedings of the 1st IFAC Workshop on Advances in Automation of Underground Hard Rock Mining, Estéral, P.Q. September 12–14, 1988. Section 2, pp. 1–13. NRC 29432.

Domey, J., Rioux, M., and Blais, F. 3-D sensing for robot vision. Proceedings of NATO Advanced Research Workshop on Sensory Robotics for the Handling of Limp Materials, Il Ciocco, Italy. October 16–22, 1988. NRC 29409.

Hilson, D., Shewchenko, N., Boulanger, P., Newman, J., and Gallup, B. Experimentation in the averaging and manufacturing of human body shape

data. Proceedings of the Fifth International Symposium on Surface Topography and Body Deformity, Vienna, Austria. September 29 – October 1, 1988. NRC 29535.

O'Sullivan, M.S., Chrostowski, J., and Desurvire, E. High power narrow linewidth erbium-doped fiber laser. Proceedings of Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO), Baltimore, MA. April 24–28, 1989. NRC 30045.

O'Sullivan, M.S., Chrostowski, J., Desurvire, E., and Simpson, J. R. High power narrow linewidth Er^{3+} doped fiber laser. Opt. Lett. 14(9): 438–440; 1989. NRC 30183.

Rioux, M., and Cournoyer, L. Les fichiers d'images tridimensionnelles du CNRC/The NRCC Three-dimensional Image Data Files. Juin/June 1988. 114 pages. CNRC 29077.

Presented

Boulanger, P. Knowledge representation for range image analysis. Vision Interface '88, Edmonton, Alta. June 6, 1988. (Invited.)

Chan, L. Optical holographic interconnects for VLSI. Photonic Networks, A Forefront of Telecommunications Seminar, Ottawa, Ont. November 8, 1988.

Chrostowski, J. Photonic devices. Photonic Networks, A Forefront of Telecommunications Seminar, Ottawa, Ont. November 8, 1988.

Domey, J. Activities of the Photonics and Sensors Section. NRC/DEE Science Association, Ottawa, Ont. June 14, 1988.

Domey, J., and Rioux, M. Activités de la section Photonique et Capteurs du CNRC. Institut national d'optique, Ste-Foy, P.Q. May 12, 1988.

Fontaine, M., and Chrostowski, J. Étude des propriétés optiques des multi-structures de InP/InGaAs à $\lambda = 1.3\,\mu m$. CAP Congress, Montreal, P.Q. June 20–22, 1988.

Jiang, W. Self routing photonic networks. Photonic Networks, A Forefront of Telecommunications Seminar, Ottawa, Ont. November 8, 1988.

Rioux, M. 3-D sensors. Vision Interface '88 Conference Tutorial, Edmonton, Alta. June 6–10, 1988.

Rioux, M. Industrial applications of a 3-D laser scanner. 1988 Joint CAP/APS Congress, Montreal, P.Q. June 22, 1988. (Invited.)

Patents

Blais, F. Galvanometric optical scanning system having synchronization photodetectors. U.S. Patent No. 4,800,271. Issued January 24, 1989.

Blais, F. Peak detector and imaging system. U.S. Patent No. 4,819,197. Issued April 4, 1989.

Rioux, M. Synchronous optical scanning apparatus. U.S. Patent No. 4,787,748. Issued November 29, 1988.

Rioux, M. Three dimensional imaging method and device. Can. Patent No. 1,245,889. Issued December 5, 1988.

Robotics and Automation Section

Head — M.A. Barakat

Introduction

The Robotics and Automation Section of the Laboratory for Intelligent Systems is a new section established less than three years ago. It is located at the Canadian Institute of Industrial Technology in Winnipeg, Manitoba.

The Section conducts research in direct support of industry, in cooperation with partners from industry and universities. The main program areas are:

- robotics: applied research and development on advanced robotic systems that can adapt to uncertainties in their work environment
- industrial automation: applied research and development in the area of computer-integrated production and testing
- knowledge-based systems: development of knowledge-based systems in the areas of expertise of industrial partners.

The research is related to industrial sectors such as manufacturing, processing, health care, and resource exploitation. Projects of the Section draw on existing expertise in the Laboratory for Intelligent Systems, other Laboratories within the Division of Electrical Engineering, and other NRC Divisions.

Robotics

Expert Off-line Programming System for Robotic Painting

P. Orban, G.D. Sawatzky, K.A. Miskiewicz

Robotic painting cells free human workers from tedious and harmful labor, while providing consistent quality in the painting process. One of the many challenges the system designer and, eventually, the user of such a system has to face is the creation of good robot programs. The robot program, which moves the spraying nozzle, must have all the expertise a human painter would have: knowledge of the surface, knowledge of the paint and gun features, painting techniques to coat irregular surfaces like corners, edges, etc.

The simplest way for robotic paint programming is to teach the robot with human painters. A major limitation of this method is that it is not economical for jobs with low volume. The desireable way of producing and verifying robotic painting programs is by off-line programming.

Vadeko International Inc. and the Robotics and Automation Section are working jointly on a project to automate the programming of robotic painting. The project sets up the framework for a computer-aided robotic painting cell programming system. The system is conceived as a collection of modules that share a central database. Some of the modules will be at least partially commercially available while others require considerable research and development. In the first phase, work was concentrated on two modules of the system: the trajectory generator and the paint deposition simulator.

A detailed investigation has been carried out on the suitability of the McDonnell Douglas Unigraphics CAD/CAM system and Robotic Simulator System for use in the implementation of the paint programming system. The work included several case studies for programming examples using the McDonnell Douglas systems.

With regard to the paint deposition simulation, an initial version of a finite element analysis program has been completed and demonstrated. The modeling of the paint plume is based on experiments. The model describes the paint distribution in an analytical form and this is used by the paint deposition simulator. An initial version of a program to visualize the paint deposition results on a Mac II computer has been completed and demonstrated. Figure 1 shows the output from the paint deposition simulation.

Industrial Automation

Advanced Automation for Surface Inspection

S. El-Hakim

The objective of this project was to develop an advanced automated processing system for surface inspection. This project was completed in August 1988. A prototype system with various tools was developed. It is capable of automatically extracting defects from an object-surface image, identifying the type of each defect, and assigning a degree of severity. One of the objectives was to accept or reject the object being inspected. This part of

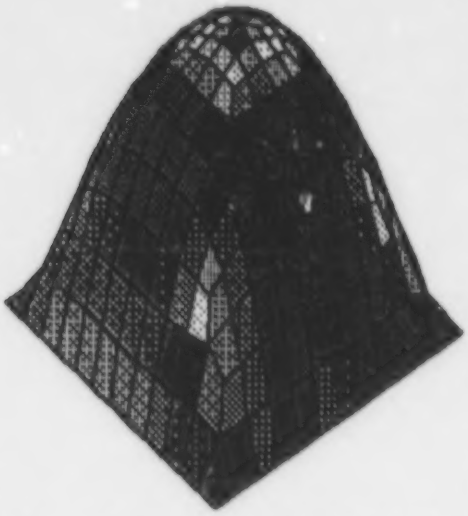


Figure 1. Output from the paint deposition simulation.

the project has not been completed due to the lack of a quantifiable understanding of the relationship between the size and shape of the defect image and the actual defect. A study funded by IRAP is now being carried out to try to develop an understanding of this phenomenon and the effect of various parameters such as light source configuration. Once this is completed, more precise rating of defects will be possible.

On-machine Dimensional Inspection System — Application of Stereo Vision

S. El-Hakim

The objective of the project is to develop an inspection system that is CAD compatible and will permit inspection at critical stages in the manufacturing process. The stereo vision system is expected to inspect parts produced by CNC machines while these parts are still on the machine. It would also be used to periodically monitor the drift of the machine and take action if the drift exceeds the acceptable limit.

Figure 2. Setup of CNC milling machine and vision system.

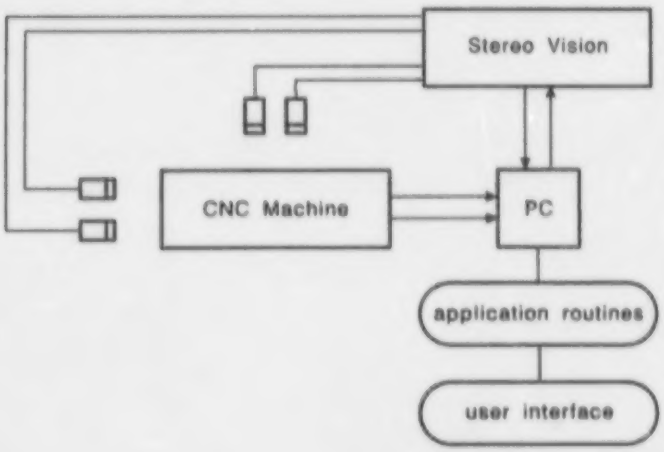


Figure 2 is a simplified block diagram of the basic setup of the CNC machine and the vision system. Control is achieved by a program which runs continuously on a personal computer, receiving signals from the machine and transferring them to the vision system, receiving the measured 3-D coordinates from the vision system and calling the appropriate application routine, and also receiving machine readings and comparing them to vision measurements to monitor machine drift. The achieved accuracy in the X–Y plane is 0.011 mm in Y and 0.016 mm in X, with a repeatability of 0.004 mm in Y and 0.013 mm in X on a volume of 40 cm × 40 cm × 40 cm. The Z (depth) accuracy and repeatability are worse due to the poorer geometry and limited depth of field. However, this shortcoming is overcome by placing two additional cameras at a right angle from the original set to monitor the Z coordinate. This not only gives the desired high accuracy but also allows for a much larger depth to be measured.

The system has been tested in a laboratory environment and on the CIIT workshop floor. Communication linkages between the components of the system, some of the user interface, and some application software are still to be developed.

3-D Vision Measurement and Comparator System

S. El-Hakim, G. Taylor,[1] P. Chartier, G. The, C.J. Wu

Inspection is the foundation of the aircraft turbine engine refurbishment process, and it is the most labor intensive portion of the activity. Over the past three decades, there has been little change in the way in which these inspections are performed, with the dimensional measurement generally being accomplished by mechanical means. However, recent progress in computer technology and machine vision systems appears to make possible a low-cost intelligent measurement system which will have a measurement accuracy of 25 µm on a 300-mm diameter object.

Turbine engine overhaul and repair work is a unique process which often differs from the

[1]Standard Aero Ltd., Winnipeg, Manitoba.

original manufacturing techniques. The rework schedule and the detailed repair technique will depend heavily upon the condition of each part. For instance, the part being repaired may have a damaged reference point or surface. In that case the repair work shall be, in principle, performed at the reference point only if the other areas are within operational tolerances. However, if the reference point or surface on the part is damaged, it is not an easy task to determine the best repair procedure to minimize the machining work without exhaustive measurements and calculations. Moreover, it is often easier to request a rework than it is to do the inspection. This leads to unnecessary expense and long turnaround time.

The proposed system consists of four parts. The stereo vision subsystem is a close range photogrammetry application using a single camera. The object is placed on a specially designed platform which has permanent camera calibration points. Multiple images (depending upon the setup design) may be taken and automatic zoning capability, to better the measurement accuracy, may be implemented. The image comparator will compare the image of parts requiring rework to the standard image stored in the library. Noncritical dimensions will be inferred from the standard part, and areas which have dimensional deviation larger than the specification will be indicated. The optimization algorithm will use the manufacturer's specifications, the experience of supervisors and machinists, the measured data, and results from the image comparator to recommend the best rework strategies. The user interface program will integrate all subsystems together and make the system easy to operate. A manual measurement option will be available so that special measurements may be made.

Custom Orthopedic Seating

P. Orban, M. Yeung, S. El-Hakim

Many diseases, injuries, or congenital deformities can result in an individual needing a special seating, specifically tailored to his particular requirements. The majority of special seats are essentially hand crafted to fit the individual, a method of production which is both expensive and time-consuming.

Commercial modular seating systems, such as those manufactured by Otto Bock Orthopedic Industry of Canada Ltd., have helped to reduce these problems, but such systems do not suit every individual. The Company has therefore developed a proprietary custom-contoured cushion production system for clients with very specific needs.

This system involves vacuum forming a contoured cushion around an anatomical positive of the client. The positive is a plaster cast that currently is fabricated manually from bead bag contours, obtained by forming the bag around the seated client. The major constraint to wide availability of the technique, and hence greater proliferation of the custom system into the market, is the current procedure of making the anatomical positive.

Otto Bock of Canada and CIIT are working together to design and implement a computerized system that would facilitate easy, fast, and cost-effective design and production of 3-D positive molds for custom orthopedic seating systems. Areas to be addressed are the acquisition of the 3-D shape by utilization of a stereo vision system and data processing for the production of the positive mold.

Grain Elevator Automation

G.B. Neilson, H. Liontas, J.L. Allston

Computer systems to assist in the operation of country grain elevators have been in place for a number of years. Most grain handling companies have some form of elevator automation. In recent years, as the original systems become obsolete and unmaintainable, and as more and more functionality is required, computer systems manufacturers have recognized the market strength of the grain industry and focused resources to solve particular industry problems.

Initial systems were developed using off-the-shelf platforms which perform many of the accounting and inventory management tasks required. These original platforms were not well suited to the grain elevator working environment and they have a variety of technical constraints that reduce their effectiveness. Advances in sensor technology and operations methodology have made it possible to increase the level of automation at each elevator, moving towards the ultimate goal of efficient, standardized handling of grain nation-wide.

The specific objectives of this project are to identify a target computer system suitable for the economic and environmental constraints of the country grain elevators, to investigate several different development environments (e.g., 4GLs) in which to port an existing grain elevator management application to this target system, to investigate alternative communications strategies, and to adapt the

packaging of the target system for the specific environmental conditions.

Currently, Oracle is being investigated for the development environment via a sampling conversion. An environmental study and communications alternatives study are also ongoing.

Continuous Acoustic Emission Monitoring System

G.B. Neilson, K.A. Mishkiewicz

Acoustic emission monitoring is a nondestructive testing technique applicable to large metallic structures such as railway bridges, pipelines, and aircraft. As these structures undergo low-cycle loading, fatigue, which is the most common cause of structural failure, occurs at critical stress points. This fatigue is actually cracking and is accompanied by acoustic emission (AE) signals which tend to change as the crack size increases.

N. Bassim, Vice-President and Technical Director of Monac Acoustic Monitoring International Inc., has obtained a patent for his technique of continuously monitoring structures using a hierarchical data acquisition system and, through the use of signal processing and pattern recognition techniques, determining the extent of damage the structure has undergone and thus the remaining usable life. The specific objective of this project is to produce the first commercial version of the continuous AE monitoring system.

The system currently being developed (Fig. 3) consists of sensors (piezoelectric crystals or accelerometers) connected to remote computing units called Surveillance Units (SUs), whose function is to discriminate valid AE events from random and event-like noise, and to determine trends, in particular parameters, indicative of the level of damage. These SUs are connected via a communications network to a centralized Control Unit (CU).

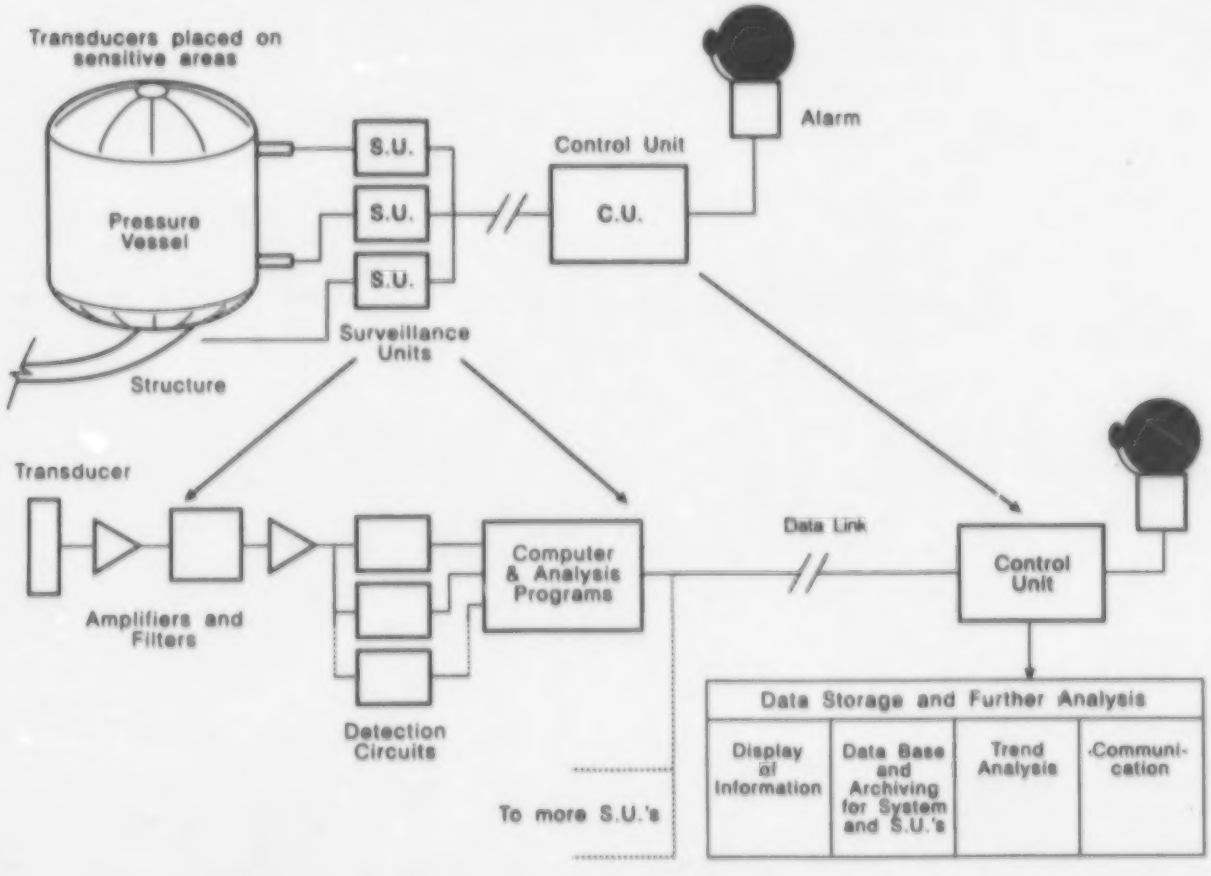


Figure 3. MONAC continuous acoustic emission monitoring system.

whose function is to monitor overall activity and determine alarm situations.

The NRC's main contribution will be in the area of software development and implementing a simulation of the AE monitoring system. This involves emulating the SU's hardware functions (realtime parameter detection), implementing frequency domain analysis, development of the induction process for pattern recognition, and development of the statistical analysis routines for the trending algorithms.

The simulation system can currently perform most of the signal analysis functions, along with supporting code for data selection and display. Porting of code to the PC-based control unit and implementing the induction algorithm in order to more closely characterize the indicative parameters for signal discrimination are the next goals. MONAC is now completing the construction of three more prototype surveillance units.

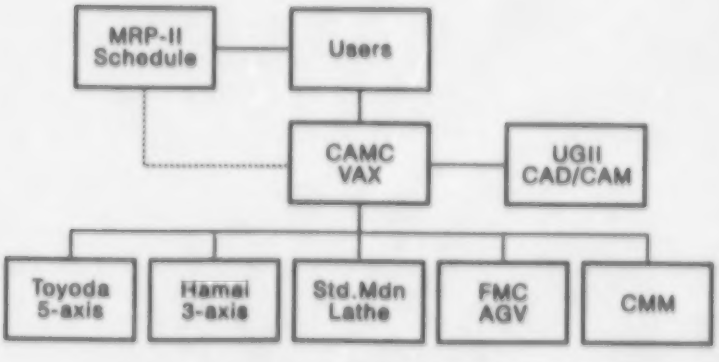
Automated Guided Vehicle Systems

P. Orban, G.D. Sawatzky, M. Yeung

Industry is increasingly using industrial automated guided vehicle (AGV) systems for its material handling needs. To meet this need, AGV companies are continually improving their AGVs to remain competitive and offer industry the most flexible, efficient, and safe material handling solution. With the participation of FMC of Canada Limited, the project is looking at ways to improve the performance and services provided by AGV systems.

Areas of improvement being considered are system controller design, communication package to provide for integrating the AGVs into a hierarchical control system, increased local "intelligence" of vehicle with powerful on-board computers and sensors, improved communication via RF means between the vehicle and the ground station, and wireless guidance system for the vehicle. In addition, AGV systems are often viewed as an engineered system and not an off-the-shelf item. Thus there is room for improved AGV system design methodology to reduce engineering costs.

Figure 4. Complete structure of CAMC in CIIT workshop.



Centralized Automated Manufacturing Cell

M. Yeung

The CAMC (Fig. 4) is a centralized control cell for computerized controllable equipment. A well-developed and matured CAMC will administer the operation of the manufacturing facility at CIIT. With the help of robotics and expert system technologies, CAMC is aimed to increase productivity.

Six stages have been identified to the development plan, with each successive stage an independent module by itself. This facilitates the continuity of normal operation in the workshop without excessive interruption from the centralized automated manufacturing cell development.

The first stage centralizes control of all the computerized equipment on one single host computer. The second stage will set up the user interfaces and establish an equipment coordination scheme through input from users. The third stage develops monitoring and reporting to allow users to take corrective measures in cases where errors occur. The fourth stage uses the defined coordination scheme (second stage) to automate the coordination. The fifth stage applies expert system technologies to coordinate equipment and thus maximize its utilization. Finally, the last stage will generalize CAMC to increase controllable equipment in the manufacturing facility. More functions and features can be added to CAMC but they can well be included in a future enhancement.

Integrated Numerical Control

M. Yeung

Companies who use CNC equipment frequently encounter problems of NC file management and CNC control centralization. These problems often interrupt the production schedule and slow down the production process. They are particularly severe in the job shop environment where the work

consists mostly of small quantities of a large variety of components.

Transfer of NC files from programming medium to CNC equipment through paper tape creates chaos in NC file management. Paper tapes are easily damaged due to wear, tear, dirt, broken tape punch, etc. Storage of paper tape is very inconvenient and costly. Retrieving an NC program is time-consuming and tedious.

Controlling the operation of CNC equipment often requires the status information of the equipment. This information is generally provided by the operator who has recorded it during machine operation, and it will lack accuracy because of the inconsistency of human input. Hence it is not reliable for later analysis.

This project is intended to develop, in collaboration with ICAM Technologies Corporation, a flexible tool that uses a computer-based networking approach to perform NC file transfer and machine monitoring. Integrating existing technologies and hardware equipment and adding the developed software will produce a complete solution which will in turn be commercialized into a low-cost but effective product.

This project is distributed into three phases. Phase one will entail the analysis, design, and development of file management software, along with the software for communication and network control. Phase two will undertake testing of hardware. Finally, during phase three hardware and software will be specified, configured, and tested in a real-time machine shop application.

Scheduling for Steel Mini-mills

C.J. Wu, H. Liontas, P.W.U. Graefe[1]

Versatility, fast response to customer requests, low transportation cost, and low capital investment are the main advantages of steel mini-mills. Unfortunately, low transportation cost generally translates into a small number of clients and a small quantity of each product. Fast response to customer requests means frequent changes on the production line or a large inventory, both of which increase the cost of production. A production scheduling program which minimizes the production line changeover costs for the steel rolling mill and gives instantaneous assessment of a modified schedule has been developed and implemented at a typical steel mini-mill.

This program is a component of the steel mini-mill production automation system and will be used mainly by the sales and shipping departments. General rolling profiles, product number, production tonnage, and targeted production data are inputs for the program. Using back orders, historical sale data, and the logical order, the program automatically generates a production schedule with minimum changeover downtime.

The program consists of two parts: the user interface, which includes screen handling, data editing, and file accessing, and the optimization program, consisting of roll selection and schedule optimization. A combinatorial enumeration technique is employed on the minimum number of rolls to be used for the group of products, changeover time is calculated based upon selected rolls in the setup, and the sequence is determined by minimizing the total changeover time using the traveling salesman algorithm.

The program has been successfully implemented and used extensively. On average, it reduces downtime by 10 to 20%. In a complicated case, the reduction is approaching 40% (16 h of rolling mill time). The program also gives the sales changeover people a comprehensive overview of the process and alerts them to the cost of changing an existing schedule, while relieving the experienced rolling mill engineers of the scheduling work load. In addition, new practices are being explored and old practices based upon incorrect perceptions are being discarded.

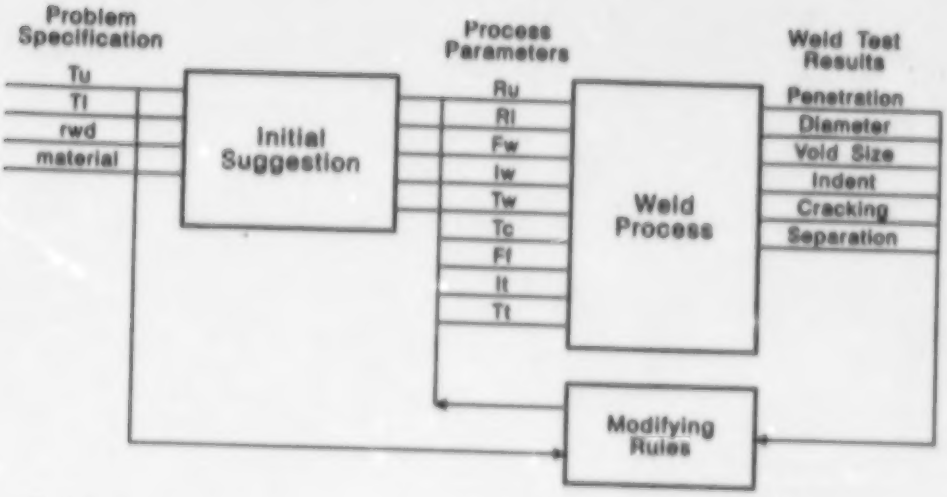
Expert Systems

Expert System for Resistance Welding

G.D. Sawatzky, R. Jackson

This project involves the development of an expert system for generation of procedures for resistance welding (Fig. 5). This system will accept a description of the materials to be welded along with their weld requirements, and produce an initial set of welding parameters (current, pressure, time) and a description of electrodes to be used. Based on the description of the resulting weld nugget, changes to the weld parameters are suggested (Fig. 6). Sources of knowledge for the development of this system are the

[1]Division of Mechanical Engineering.



Problem Specification

Tu: Thickness of upper material
Tl: Thickness of lower material
rwd: Required weld diameter
material: Material type of sheets to weld

Process Parameters

Ru: Upper electrode contour radius
Rl: Lower electrode contour radius
Fw: Force during weld pulse
Iw: Current during weld pulse
Tw: Time of weld pulse
Tc: Time to cool between pulses
Ff: Force during forging period
It: Current during temper pulse
Tt: Time of temper pulse

Weld Test Results

- Penetration of weld nugget through sheets (%)
- Diameter of weld nugget
- Size of void
- Indentation from electrodes
- Cracking of material
- Separation of sheets around nugget
- and others...

Figure 5. Weld schedule generation process.

resistance weld documentation from Bristol Aerospace, interviews with Bristol's best resistance welder (more than 20 years' experience), and available reference material.

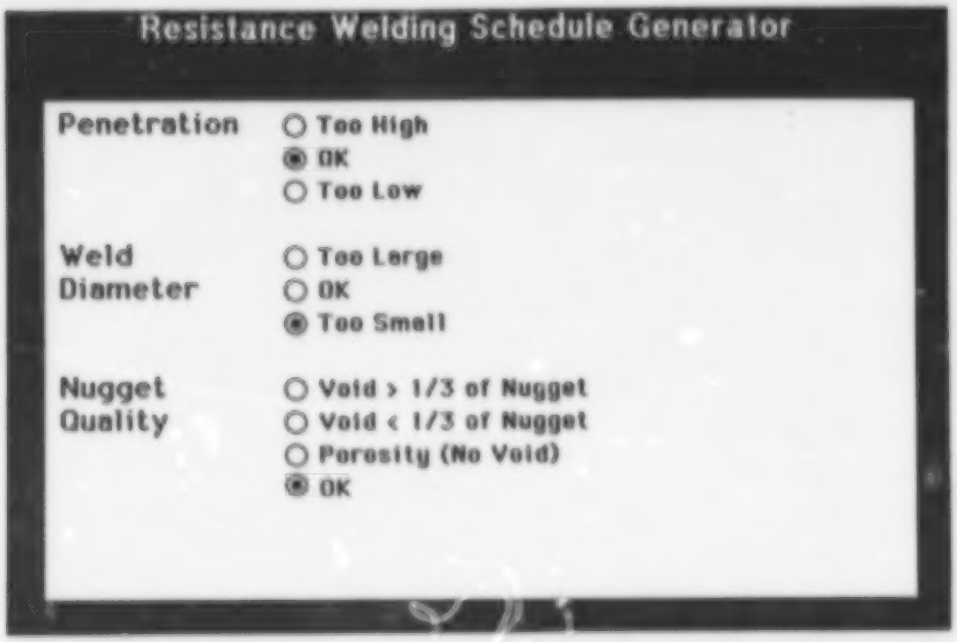
Currently, the expert system is implemented as a set of software "objects," each of which embodies the knowledge about a component of the problem domain. Using the approach of object-oriented programming, these fairly simple objects communicate with each other by passing "messages" and create a rich network of knowledge with a minimum of complexity in programming. The objects and their "methods" for handling these messages describe a "qualitative model" of the relationships among the parameters involved in a welding procedure. This model is accessed by a set of rules which correct the faults from the previous trial.

Development of an Expert Scheduling System for Softgoods Manufacturers

G.D. Sawatzky

Scheduling systems development is a large area of research and many products have been developed. However, many Canadian clothing manufacturers do not use computer-based systems for their scheduling needs. Some of the reasons given for this are the seasonal nature of the business, the importance of fashion, the dynamic environment with respect to customer and supplier lead time requirements, and difficulty in maintaining accurate data. Thus it is felt by some in the industry that a custom expert scheduling system is required to reflect the special knowledge about resolving scheduling problems and advising the user about alternatives.

(a)



(b)

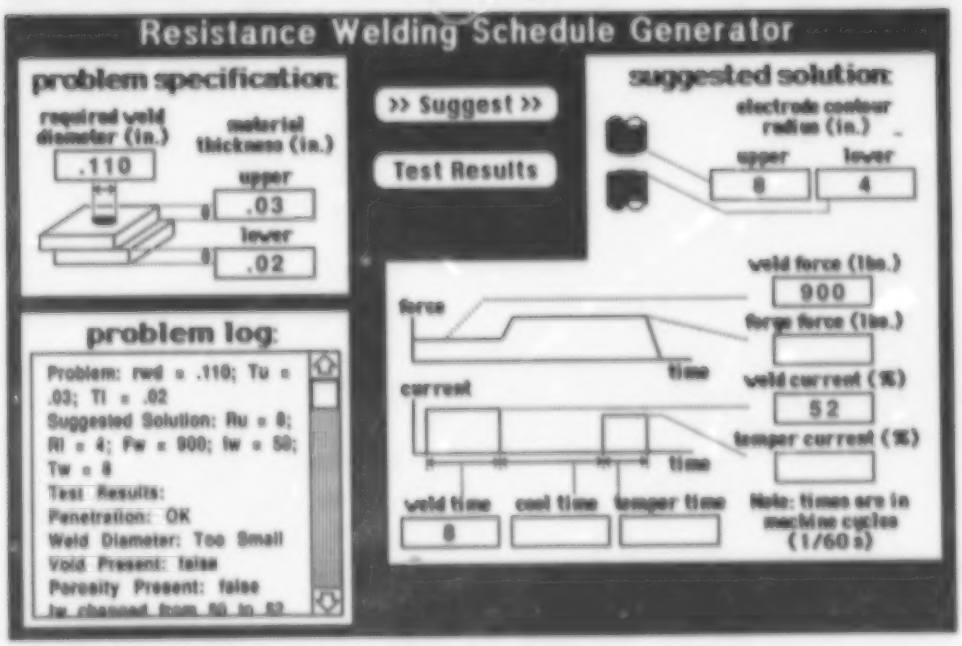


Figure 6. Resistance welding schedule generator.

Strategic Innovations Inc., a software development company working with Canadian soft goods manufacturers, wants to develop an expert scheduling system as a commercial product for the garment industry and is a partner at CIIT. In 1988/89, the original prototype was converted to commonLISP to enhance performance determined from results using test data obtained from a local garment manufacturer. Based on interest shown from potential users, the company has begun development of a commercial version of the prototype. Improvement of the LISP prototype will continue based on feed-

back from industrial users and interviews with scheduling experts. Proven features will eventually be included in the commercial version.

Clinical Diagnosis of Deep Vein Thrombosis

N. Pizzi

Deep Vein Thrombosis (DVT) — the clotting of blood in the heart and the great vessels — is a serious condition which affects a large number of patients who undergo total joint replacements. At the present time, the detection of DVT is clinically unreliable and, as a result, treatment usually takes place only after it has been post-operatively detected. The proposed automated diagnostic system, to be developed in cooperation with Knowledge Systems of Canada and St. Boniface General Hospital, should assist the clinical specialist in improving the detection rate of this affliction.

The project objectives are three-fold: incorporate the traditional statistical analysis techniques normally used in clinical research projects for the detection of DVT; introduce qualitative data into the system such as data from patient activity charts and nursing observation charts; and study the feasibility of generalizing the system to a diagnostic tool for any medical research project in clinical epidemiology.

The system will be developed in parallel with the traditional method of data extraction and statistical analysis by the clinical researchers. A radioactively labelled fibrinogen will be administered post-operatively to all patients in the study to facilitate detection of thromboembolisms (obstructions of vessels carried by the blood stream from their sites of origin).

Recent Papers

Published

El-Hakim, S. F. A hierarchical approach to stereo vision. Photogramm. Eng. Remote Sensing, 55(4): 443–448; NRC 29767.

El-Hakim, S.F. Stereo vision system for on-machine dimensional metrology. Applications of Artificial Intelligence VII Symposium, SPIE Vol. 1095, pp. 310–320. March 1989. NRC 30106.

El-Hakim, S.F. Limiting factors of real-time image metrology. 16th Congress of the International Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 27, Part B2, July 1988. pp. 87–109. NRC 30678.

Orban, P., The, G., and Van den Berg, B. A robot based CMM — feasibility study. Proceedings of the Symposium on Manufacturing Application Languages, Winnipeg, Man. June 20–21, 1988. pp. 87–96. NRC 30676.

Pizzi, N.J., Kapoor, S., and Gerrard, J.M. Hematology expert system (HES) for tonsillectomy/adenoidectomy patients. SPIE Proceedings, "Applications of Artificial Intelligence VII", Orlando, FL. March 27–31, 1989. NRC 29968.

Presented

Barakat, M. Canadian Institute of Industrial Technology (CIIT): A novel approach to technology transfer. Conference on Automated Integrated Factory, AUTOFACT '88, Chicago, IL. October 1988.

Sawatzky, G. Goldworks for pedestrians. NRC/CIIT, Winnipeg, Man. May 19, 1988.

The, G. NRC and CIIT Winnipeg activities. Electrotechnical Laboratory, Tsukuba City, Japan. March 14, 1989.

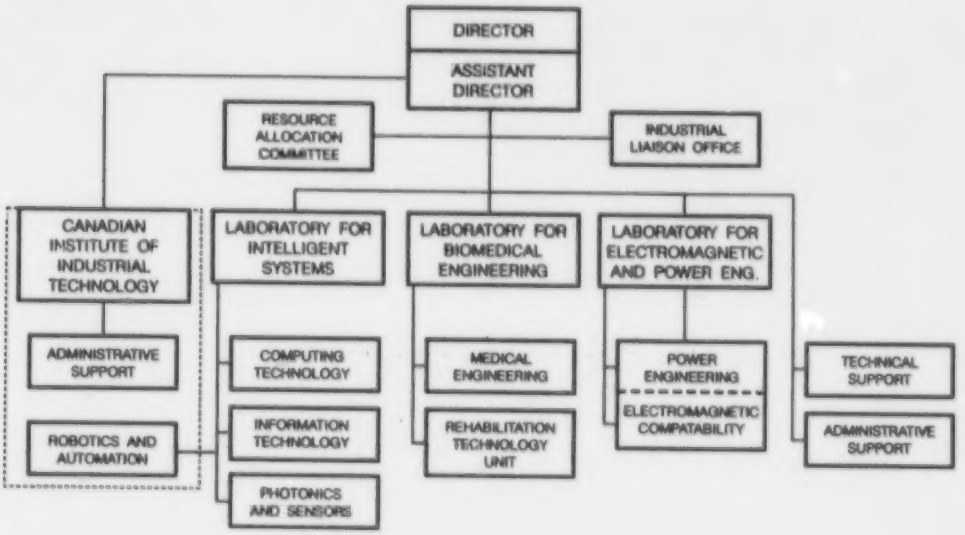
The, G. Robot based CMM feasibility study. Electrotechnical Laboratory, Tsukuba City, Japan, March 14, 1989.

The, G. Robot based CMM. Fuji Electric, Hino City, Japan. March 16, 1989.

The, G. NRC-Canada and CIIT-Winnipeg overview. Fuji Electric, Hino City, Japan. March 16, 1989.

Appendix A

Organizational Chart



Staff, April 1, 1988, to March 31, 1989

Director — S.A. Mayman

Assistant Director — M.M.C. Collins

Director's Secretary — A.C. Dunn

Principal Research Engineer — J.Y. Wong

Industrial Liaison Office — A.M. Hlady

Arnold, J.G.
Birnbaum, K.[1]
Chartrand-Mulvey, L.
Neal, G.
O'Hara, D.H.
Scrimgeour, J.H.C.

Administration and Materiel Management — M.M. Fox

Administrative Office

Crupi, F.
Houle, C.
Kenny, S.
Lambert, C.
Manson, M.

Supply Office and Stores — G.H. Weston

Lajeunesse, M.
Lamont, J.D.
Osborn, L.
Taggart, S.J.[2]
Wilson, D.G.D.

[1] Transferred to Management Services Branch in June 1988.
[2] Resigned in May 1988.

Technical Services — C.C. Eamer

Development Workshops — D.F. Milne[1]

Bouchard, S.
Bramall, B.K.
Dunlop, D.A.
Farr, B.C.
Hendley, J.G.
Kritsch, R.A.
L'Abbé, P.C.
Legere, J.
Marchington, D.C.
Pollex, G.P.
Poulin, D.A.W.
Preece, N.
Taylor, A.R.
Tierney, K.G.

Guest Worker

Landry, J.[2]

Drafting and Photography

Ablack, V.G.
Amirault, P.C.
Cameron, L.A.
Gamache, D.
Schoenherr, K.
Vallières, R.A.
Walker, G.D.

Editorial Office — E.M. Kidd

Tierney, T.A.

Laboratory for Biomedical Engineering — O.Z. Roy

Medical Engineering — O.Z. Roy

Scientific Staff

Black, R.C.
Crabtree, D.
Durie, N.D.
Forester, G.V.
Kadamani, E.
Korba, L.W.
Lang, S.
Mortimer, A.J.
Nelson, P.J.

Technical Staff

Farley, R.
LaFleur, C.
McSheffrey, L.
Park, G.C.
Saver, W.
Scott, J.
Skrypnyk, R.
Statham, A.
Trollope, B.J.
Villeneuve, E.J.

Post-Doctoral Fellow

Nedelec, J.-F.

Guest Workers

Armstrong, G.W.D.[3]
Chow, D.[3]
Gilbert, S.[3]
Harrison, S.[4]
James, K.[5]
Johnson, K.[6]
Lovas, M.A.[3]
Maule, A.[7]
Peterson, E.[3]
Runolfson, R.[6]
Truong, J.[6]
Wilson, J.[4]

Students

Benhassin, N.
Birnbaum, E.
Capes, S.
Little, I.

Rehabilitation Technology — J. Bateman

Scientific Staff

Bennett, W.G.
Clark, I.P.
Liu, A.J.W.

Technical Staff

Ayvazyan, H.
Kennedy, L.L.
Kerr, S.A.[8]
Tam, M.
Tremblay, R.

Student

Taylor, K.

---

[1] Retired in June 1988.
[2] Pylon Electronic Development Company Limited, Nepean, Ontario.
[3] Ottawa Civic Hospital, Ottawa, Ontario.
[4] Terray Manufacturing Inc., Arnprior, Ontario.
[5] Consultant, Ottawa, Ontario.
[6] Carleton University, Ottawa, Ontario.
[7] Ottawa Mobility Manufacturing, Nepean, Ontario.
[8] Resigned in March 1989.

Laboratory for Electromagnetic and Power Engineering — M.M.C. Collins

Power Engineering — W.J.M. Moore

Scientific Staff

Arseneau, R.J.
Bamji, S.S.
Bulinski, A.T.
Densley, R.J.
Filipski, P.S.
Kashyap, S.
Kekez, M.M.
LoVetri, J.
McComb, T.R.
Podgorski, A.S.
Seregelyi, J.
So, E.

Technical Staff

Angelo, D.J.
Bennett, D.
Cassidy, B.R.
Cook, P.R.
Cossette, L.
Dagg, G.B.
Dunn, J.G.
Gibson, G.
Grünwald, A.
Robert, J.E.P.
Rocheleau, D.O.
Sabourin, I.
Williscroft, G.
Zelle, J.J.

Guest Workers

Antar, Y.M.M.[1]
Gautier, R.[2]
Hendry, A.[3]
Hurd, R.A.[4]
Muto, H.[5]

Students

Decarie, P.
Fischer, C.
Jovanovic, M.
O'Riley, C.
Stranges, N.

Laboratory for Intelligent Systems — M.M.C. Collins

Computing Technology — N. Burtnyk

Scientific Staff

Archibald, C.
Bechthold, G.H.
Elgazzar, S.
Evans, K.B.
Gentleman, W.M.
Green, D.A.
Hung, S.H.Y.
Kelley, J.V.
Liscano, R.
MacKay, S.A.
Merritt, C.
Parr, R.[6]
Roth, G.
Shepertycki, T.H.
Stewart, D.A.
Wein, M.

Technical Staff

Binch, A.
Colwell, M.
Duggan, M.D.
Taylor, D.G.

Guest Workers

Amid, S.[7]
Donenfeld, A.[8]
Huang, Y.[9]
Kasvand, T.[10]
Klinkhammer, R.[8]
Normand, L.-P.[11]
Smith, G.[12]
Venkatesan, S.[13]

Temporary Assistant

Fuller, M.

Students

Paquin, M.A.
Roach, J.G.
Wood, K.

---

[1]Royal Military College, Kingston, Ontario.
[2]R&D Optics, Ottawa, Ontario.
[3]Retired in August 1986.
[4]Retired in March 1985.
[5]The Furukawa Electric Co., Ltd., Tokyo, Japan.
[6]Resigned in November 1986.
[7]McGill University, Montreal, Quebec.
[8]Multiprocessor Toolsmiths, Ottawa, Ontario.
[9]Beijing Institute of Data Processing Technology, Beijing, People's Republic of China.
[10]Consultant, Ottawa, Ontario.
[11]Department of National Defence, Ottawa, Ontario.
[12]University of Waterloo, Waterloo, Ontario.
[13]Concordia University, Montreal, Quebec.

Information Technology — J.W. Brahan

Scientific Staff

Abu-Hakima, S.
Buck, L.J.
Craddock, A.J.
Davidson, P.L.
Diaz, A.C.
El-Zorkany, H.I.
Famili, A.
Farley, B.
Halasz, M.S.
Henneker, W.H.
Orchard, R.A.
Parent, A.
Phan, C.S.
Wylie, R.H.

Technical Staff

Booth, T.A.
Born, R.V.
Duford, C.[1]
McEwan, L.J.E.
Orpana, F.P.
Shevel, R.
Thibault, P.

Guest Workers

Boulet, M.M.[2]
Lambert, A.[3]
Vernadat, F.B.[4]

Students

Selmer, P.E.
Szeto, S.
Thompson, J.

Photonics and Sensors — J. Domey

Scientific Staff

Abdelmalek, N.N.
Blais, F.
Boulanger, P.B.
Chrostowski, J.
O'Sullivan, M.S.
Rioux, M.

Technical Staff

Alie, F.E.[5]
Cournoyer, L.
Dufour, A.G.
Fournier, T.
Gariépy, P.
Misner, R.

Research Associates

Beraldin, J.-A.
Maigné, P.P.

Post-Doctoral Fellow

Boothroyd, S.A.

Guest Workers

Baribeau, R.[6]
Bock, W.J.[7]
Chan, L.Y.C.[8]
Fontaine, M.[7]
Hartsgrove, G.[9]
Jiang, W.[9]
Kopola, H.[9]
Peereboom, N.[10]
Wang, Z.[11]
Wartak, M.S.
Xue, M.[11]
Yuen, S.[8]
Zhang, Y.[11]

Temporary Assistants

Artish, L.
Meszaros, L.
Porada, E.

Students

Cormier, J.-P.
Cote, R.
Tessier, P.

Robotics and Automation — M.A. Barakat

Scientific Staff

Allston, J.
Chartier, P.
El-Hakim, S.
Jackson, R.
Liontas, H.
Miskiewicz, K.A.
Neilson, G.B.
Orban, P.
Pizzi, N.
Sawatzky, G.D.
The, H.G.
Wilk, S.F.
Wu, C.J.

Guest Workers

Feilu, L.[12]
MacKay, D.[13]

Students

Bistyak, G.
Shafai, C.
Wagner, R.

---

[1]Resigned in June 1988.
[2]Laval University, Quebec, Quebec.
[3]Health and Welfare Canada, Ottawa, Ontario.
[4]INRIA-Lorraine, Vandoeuvre-lès-Nancy, France.
[5]Retired in April 1989.
[6]Servo-Robot Inc., Boucherville, Quebec.
[7]University of Quebec in Hull, Hull, Quebec.
[8]Carleton University, Ottawa, Ontario.
[9]University of Ottawa, Ottawa, Ontario.
[10]Canadian Astronautics Limited, Ottawa, Ontario.
[11]Xian Institute of Optics and Precision Mechanics, Xian, Republic of China.
[12]Changsha Institute of Technology, Changsha, People's Republic of China.
[13]University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba.

Canadian Institute of Industrial Technology

Director — S.A. Mayman

Executive Manager — W.C. McGregor

Operations Manager — J.P. Riese

Administrative Assistant — N. Swanson,[1] C. Clague

Marketing and Promotional Officer — P.F. Kent

Assistant to the Operations Manager — K. Rawes

Secretary — D. Gareau

Receptionist — A. Bolly

CIIT'S Partners

Bristol Aerospace Limited
CAD Systems Inc.
Canadian Healthcare Telematics Inc.
Ciser Systems Corporation
Cryodynamics Manitoba Inc.
Digital Equipment of Canada Ltd.
Electronics Industry Association of Manitoba
FMC of Canada Limited
Gene Barbee & Associates Ltd.
ICAM Technologies Corporation
Indent Technologies Corporation
Insytech Inc.
Integrated Engineering Software Inc.
IRIS Systems Inc.
Knowledge Systems of Canada Ltd.
Manitoba Research Council
Monac International Corporation
NRC Industrial Research Assistance Program
Nygard International Ltd.
Online Enterprises Inc.
Otto Bock Orthopedic Industry of Canada Ltd.
Quantic Laboratories Inc.
Red River Community College
Slagerman Engineering Ltd.
Spiroll Kipp Kelly (1984) Inc.
Standard Aero Limited
Strategic Innovations Inc.
Ubitrex Corporation
Unisys Canada Inc.
Universal Robotics Corporation
University of Manitoba
University of Winnipeg
Vadeko International Inc.
Voisys Incorporated
Wardrop Engineering Inc.

DEE Branch Library, CISTI — J. Dyment

Day, M.

Health Unit

Lorraine, L.

[1]On nurturing leave, August 1988.

Author Index

Abdelmalek, N. 60
Abu-Hakima, S. 49, 51
Allston, J.L. 69
Amid, S. 39–40
Archibald, C. 40
Armstrong, G.W.D. 13
Arnold, J. 5
Arseneau, R. 23
Bamji, S.S. 25
Barakat, M.A. 67
Baribeau, R. 57
Batelaan, J. 19
Bechthold, G. 39
Bennett, W.G. 19
Beraldin, J.-A. 58–59
Bing, C. 64
Black, R.C. 13, 16
Blais, F. 58–59
Bock, W. 64
Boothroyd, S.A. 62
Boulanger, P. 60–61
Brahan, J.W. 16, 47, 49
Buck, L. 49
Bulinski, A. 25
Burtnyk, N. 39
Chan, L. 62
Chartier, P. 68
Chow, D. 13
Chrostowski, J. 62, 64–65
Clark, I.P. 19
Collins, M.M.C. 21, 31
Cormier, J.P. 61
Crabtree, D. 16
Craddock, A.J. 49
Cung, M. 61
Davidson, P.L. 51
Densley, R.J. 25
Diaz, A. 49
Domey, J. 58
Dufour, A. 65
Durie, N.D. 11
El-Hakim, S. 67–69
Elgazzar, S. 38
Evans, K.B. 41
Famili, A. 47
Farley, B. 48
Filipski, P.S. 23
Forester, G.V. 15
Foux, A. 13
Gentleman, W.M. 35
Gilbert, S. 13
Graefe, P.W.U. 72
Green, D. 42
Halasz, M.S. 51
Harrison, S. 13
Henneker, W.H. 47
Hlady, A.M. 3
Hung, S. 42
Jackson, R. 72
Jiang, W. 64
Kadamani, E. 13
Kashyap, S. 26
Kekez, M. 26
Kopola, H. 64
Korba, L.W. 11
Lang, S. 11
Liontas, H. 69, 72
Liscano, R. 42
Liu, A.J.W. 19
Lovas, M. 13
LoVetri, J. 26
MacKay, S.A. 35
Maigné, P. 62, 64
McComb, T.R. 23
Merrett, G.J. 13
Merritt, C. 40
Miskiewicz, K.A. 67, 70
Moore, W.J.M. 23
Mortimer, A.J. 13, 16
Mount, H.T. 16
Murnaghan, J.P. 13
Neal, G. 3
Nedelec, J.-F. 13
Neilson, G.B. 69–70
Nelson, P.J. 11
Niktash, M. 16
O'Hara, D.H. 3
O'Sullivan, M.S. 62
Orban, P. 67, 69, 71
Orchard, R.A. 49
Parent, A.T. 49
Parr, R. 35
Peereboom, N. 62
Phan, C.S. 49, 51
Pizzi, N. 75
Podgorski, A.S. 26
Porada, E. 61
Pressman, I.S. 16
Rioux, M. 55, 57–61
Roy, O.Z. 7
Sawatzky, G.D. 67, 71–73
Scrimgeour, J. 4
Seregelyi, J. 26
Shepertycki, T.H. 42
So, E. 23
Stewart, D.A. 35
Taylor, G. 68
The, G. 68
Uhthoff, H.K. 13
Wartak, M. 64
Wein, M. 35
Wilson, J. 13
Wu, C.J. 68, 72
Wylie, R.H. 49
Yeung, M. 69, 71
Yuen, S. 64

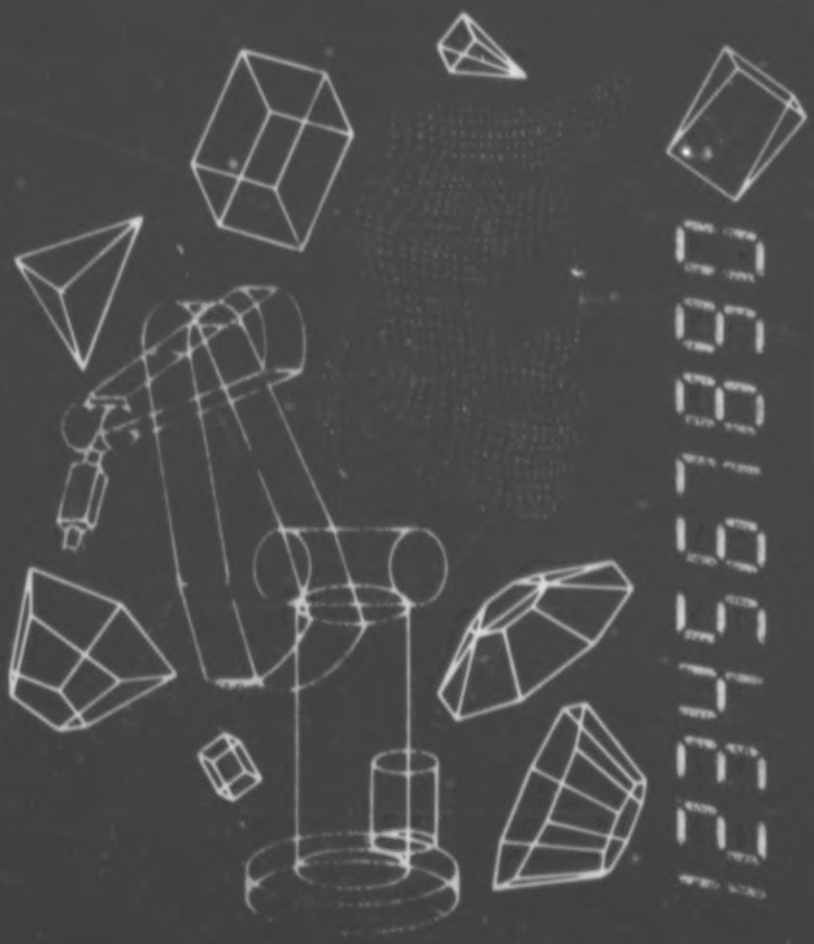
Conseil national de recherches Canada
National Research Council Canada

Division de génie electrique
Division of Electrical Engineering

ISSN 0706-568X

Bulletin de la Division de génie électrique

1988–1989



Canada

CNRC n° 30458

Bulletin de la Division de génie électrique

CNRC Ottawa mai 1989
Volume 3, numéro 3

Copyright 1989 par Conseil national de recherches du Canada

Il est permis de citer de courts extraits et de reproduire des figures ou tableaux du présent bulletin, à condition d'en identifier clairement la source.

Des exemplaires supplémentaires gratuits peuvent être obtenus à l'adresse suivante:

Bureau des publications, Pièce 301
Division de génie électrique
Conseil national de recherches du Canada
Ottawa (Ontario) Canada
K1A 0R6

Bulletin de la Division de génie électrique

1988–1989

Table des matières

Introduction 1

Bureau des relations industrielles
- Organisation et activités 3
- Technologies manufacturières de pointe et automatisation industrielle 4
- Programme sur la sécurité publique 5
- Mémoires récents 5

Laboratoire de génie biomédical
- Objectif 7
- Description du programme 7

Section de génie médical
- Mise au point d'un véhicule autonome pour des applications en soins de santé 11
- Orthopédie 13
- Les effets des radiations non ionisantes 14
- Paradigmes de découverte pour la classification taxonomique des maladies 16
- Sciences de la vie dans l'espace 16
- Mémoires récents 17

Unité de technologie de la réhabilitation
- Technologie de la production d'aides pour handicapés 19
- Mémoires récents 20

Laboratoire de génie électromagnétique et d'énergie
- Objectif 21
- Description du programme 21

Section d'énergie
- Mesures de précision en électricité 23
- Isolants électriques 25
- Brouillage et compatibilité électromagnétiques 27
- Mémoires récents 28

Laboratoire des systèmes intelligents
- Objectifs 31
- Description du programme 31

Section d'automatique
- Introduction 35
- Architecture de multiprocesseurs pour la commande en temps réel 35
- Robotique à capteurs 38
- Robot mobile pour les applications en soins de santé 43
- Mémoires récents 46

Section de recherches en informatique
- Introduction 49
- Systèmes à base de connaissances 49
- Système conseillers intelligents 52
- Suivi de l'état des moteurs 53
- Mémoires récents 55

Section photonique et capteurs
- Introduction 57
- Vision 3D 57
- Composants photoniques pour l'inspection industrielle, le traitement des données et les capteurs 64
- Mémoires récents 67

Section de robotique et automatisation
- Introduction 69
- Robotique 69
- Automatisation industrielle 70
- Systèmes à base de connaissances 75
- Mémoires récents 78

Annexe A
- Organigramme 79
- Personnel, 1er avril 1988 au 31 mars 1989 79

Répertoire des auteurs 84

Division de génie électrique

Introduction

Les activités de la Division de génie électrique visent une grande variété d'objectifs et touchent à une vaste gamme de technologies. Ces travaux sont répartis dans la moitié du Canada et ils influent sur les composantes sociales et technologiques fondamentales du pays. Malgré cette diversité, la Division conserve toujours son homogénéité. La réorientation amorcée par suite des coupures budgétaires de 1987 a été planifiée en fonction de cette exigence et bien que nos activités aient évolué depuis, le thème de base n'a pas changé. Plusieurs des projets décrits cette année démontrent que les interactions internes ne cessent de croître au sein de la Division.

En fait, la collaboration est même devenue l'un des éléments clés de la stratégie de la Division afin de garantir l'utilité directe de nos produits pour les Canadiens. L'ICTI de Winnipeg, nous travaillons avec des partenaires industriels sur des projets lancés et planifiés par l'industrie. Nous participons, par l'intermédiaire de l'Unité de technologie en réadaptation (RTU) de Toronto, à la commercialisation de dispositifs de soutien pour personnes handicapées et âgées. À Ottawa, nous travaillons avec des chercheurs universitaires, participons à des consortiums de recherche pré-concurrentielle et à des centres d'excellence, entreprenons des projets spécialisés de recherche et développement pour le compte de l'industrie et des ministères du gouvernement, et travaillons directement avec l'industrie canadienne en vue de contribuer à l'accroissement de la productivité et de la capacité concurrentielle. Les rapports qui suivent donnent des exemples de toutes ces activités.

Nos efforts visant à accroître le niveau de coopération dans nos activités en cours sont directement liés à la priorité que nous accordons toujours au transfert de technologie. Le Bureau de liaison industrielle cherche, en collaboration avec des courtiers en technologie et avec les nouveaux agents de commercialisation du CNRC, des occasions pour l'exploitation des possibilités et technologies existantes. Parmi ces réalisations, on peut mentionner Harmony, les systèmes de vision de la DGE et une sonde ultrasonore pour l'angioplastie laser.

Certains membres de la Direction ont reçu des distinctions particulières au cours de l'année précédente. John Arnold a reçu une citation civile du Conseil des commissaires de police d'Ottawa pour "le temps et les efforts consacrés à l'amélioration des possibilités techniques de la lutte contre la criminalité, à Ottawa et ailleurs au pays". Le Dr John Densley a reçu le Thomas Dakin Award de la Dielectrics and Insulation Society de la IEEE, pour ses réalisations techniques dans le secteur des isolants électriques. Il s'agit du plus important prix accordé par cette société. Le Dr Morven Gentleman est le récipiendaire de la médaille R.A. Ross de la Société canadienne de génie électrique pour 1988, attribuée à la meilleure communication sur des sujets liés au génie électrique et à l'informatique. La Société internationale de photogrammétrie et de télédétection a souligné le travail extraordinaire du Dr Sabry El-Hakim de 1984 à 1988. Alan Mortimer a reçu un prix spécial pour ses activités à titre de président du comité sur les effets biologiques de l'American Institute of Ultrasound in Medicine. La Division est fière de ces réalisations individuelles puisqu'elles sont un signe de la collaboration avec plusieurs autres collègues.

L'ICTI de Winnipeg poursuit ses travaux visant la réalisation de ses objectifs. Nous occupons présentement plus de 80 % des laboratoires et bureaux dans notre immeuble. Parmi les partenaires de l'Institut, on compte 28 entreprises privées, ainsi que des organismes subventionnés par le gouvernement, des institutions d'enseignement et des associations. Pour garantir le meilleur déroulement des projets, le Conseil consultatif a mis sur pied un comité de planification à long terme qui élaborera un plan stratégique pour les activités de l'ICTI pendant la prochaine décennie.

Le présent document ne peut donner au lecteur qu'une image très partielle de l'étendue et de l'envergure des activités de la Division. Toute personne qui souhaite obtenir plus de détails afin de mieux comprendre la technologie, d'explorer des possibilités de collaboration et d'étudier des occasions de commercialisation, est invitée à communiquer avec le chercheur responsable, avec le Bureau des relations industrielles ou avec moi-même. Nous savons que le seul véritable étalon de la validité de notre travail est l'utilisation qui en est faite.

S.A. Mayman
Directeur
Division de génie électrique
Mars 1989

Bureau des relations industrielles

Agent des relations industrielles — A.M. Hlady

Organisation et activités

A.M. Hlady, G. Neal, D.H. O'Hara

La Division de génie électrique réserve encore, parmi ses objectifs et priorités stratégiques, une part importante aux activités de R&D réalisées en collaboration avec l'industrie canadienne ou pour le soutien de cette industrie. Pour faciliter les interactions entre le secteur privé et les laboratoires de la DGE, la Division s'est dotée d'un Bureau des relations industrielles (BRI) dont les principales fonctions sont de faire connaître les compétences de la Division, d'identifier les besoins de l'industrie et d'établir des relations de travail profitables aux deux parties entre nos laboratoires et les organismes externes; dans le cadre de ces ententes, le CNRC réalise des travaux en collaboration avec ses clients et partenaires ou pour le compte de ceux-ci, ou leur transfère des technologies nouvelles. Bien que la priorité soit accordée à la collaboration avec l'industrie, la DGE collabore aussi avec les universités et avec les ministères des divers gouvernements.

À titre d'organisme du gouvernement fédéral, le CNRC doit travailler dans le cadre de contraintes juridiques et politiques qui déterminent les principes généraux de son fonctionnement. Toutefois, plusieurs mécanismes de collaboration avec des clients et partenaires restent possibles dans ces limites. Par exemple, un membre du personnel de l'organisme partenaire peut travailler temporairement au CNRC avec des chercheurs du Conseil et partager avec eux nos installations, dans le cadre de projets de transfert d'une technologie issue d'un laboratoire du CNRC ou de projets conjoints de recherche et développement dans lesquels les deux parties collaborent en vue d'un objectif commun. Bien que la DGE ne puisse recevoir qu'un nombre limité de travailleurs invités, cette méthode de collaboration a fait ses preuves. On peut élaborer d'autres mécanismes de collaboration, depuis la collaboration en partage des coûts jusqu'à la récupération totale des coûts par le CNRC, selon la nature du projet.

Avant l'implantation du projet, le BRI et le partenaire ou client potentiel choisissent l'approche la plus appropriée aux circonstances du projet. Avant de choisir avec un client/partenaire la meilleure approche possible, le BRI consulte le personnel technique, juridique, financier et administratif du CNRC. Lorsque les deux parties sont satisfaites des conditions de la proposition de projet, l'entente est confirmée par la signature d'un accord qui garantit que la complète convergence des deux parties quant à leurs rôles et apports respectifs, ainsi que sur des questions comme les droits de propriété et de distribution associés à toute propriété intellectuelle développée dans le cadre du projet.

Il est évident qu'aucun organisme externe ne pensera à négocier des ententes avec la DGE s'il ignore ce que nous pouvons lui offrir, c'est-à-dire notre savoir-faire scientifique et technique, nos laboratoires et l'accès aux installations complémentaires d'autres organismes. Le BRI a assuré la promotion et la commercialisation des possibilités de la DGE en organisant des expositions dans le cadre de conférences, en distribuant des brochures, et en rencontrant des clients/partenaires potentiels, mais il nous reste encore beaucoup de travail à accomplir pour accroître notre visibilité à l'échelle nationale. Afin de tirer le meilleur parti des ressources limitées du BRI de la DGE, on prévoit collaborer étroitement avec le Bureau de commercialisation créé récemment au CNRC et poursuivre notre collaboration avec le Service de l'information et des relations publiques du CNRC et avec le réseau des laboratoires du PARI et le réseau régional du PARI. De plus, les BRI des diverses divisions des laboratoires du CNRC poursuivent leur collaboration via un réseau informel.

En ce qui a trait au rôle d'identification des besoins de l'industrie, le BRI reste le point central de la Division pour l'acheminement des demandes techniques et des propositions de R&D issues de l'industrie. La complexité technique des réponses à ces demandes dépend en grande partie du degré de correspondance entre les demandes d'une part et, d'autre part, les connaissances et l'expérience du personnel de la DGE. La Division étudie aussi les propositions de R&D de l'industrie pour le compte des organismes subventionneurs fédéraux, y compris le PARI du CNRC. Le personnel des laboratoires de la DGE évalue les propositions en fonction de certains critères comme, par exemple, le degré d'innovation et de risques techniques, ainsi que la pertinence

de l'approche technique proposée. Dans certains cas, les analystes de projets peuvent formuler des critiques constructives et suggérer des approches techniques plus prometteuses ou d'autres types d'améliorations.

En plus de son rôle général dans le secteur des relations industrielles, le Bureau des relations industrielles comporte deux composantes spécialisées: le conseiller principal sur les technologies manufacturières de pointe et l'automatisation industrielle, et le gestionnaire du programme sur la sécurité publique du CNRC. Le Bureau assure aussi les services de secrétariat pour le Comité associé du CNRC sur la technologie de l'éducation.

Technologies manufacturières de pointe et automatisation industrielle

J. Scrimgeour

DITECHNA

En 1987, on a finalisé des ententes avec l'Association des manufacturiers canadiens (AMC) en vue de l'établissement au Canada d'un réseau national de diffusion des technologies manufacturières (DITECHNA). Il s'agit d'un réseau national exploité par l'AMC qui aidera les fabricants canadiens à appliquer les technologies de pointe aux opérations de production et de traitement dans tous les secteurs industriels, ce qui améliorera leur niveau concurrentiel sur le marché national et les marchés étrangers. DITECHNA publie mensuellement le périodique «*Technology Source*», qui est distribué à environ 7000 entreprises.

Le CNRC contribue financièrement au budget de fonctionnement de DITECHNA. De plus, comme on le verra plus bas, le CNRC prépare chaque mois *Le Bulletin CAO/FAO* qui est distribué par l'intermédiaire de «*Technology Source*» et de sa base de données à accès public en ligne, ce qui permet aux fabricants canadiens de connaître les nouveaux développements, les événements récents et les sources d'informations dans le secteur des technologies manufacturières de pointe.

Comité associé du CNRC sur l'intelligence artificielle

Le Comité associé du CNRC sur l'intelligence artificielle (IA) a été créé en avril 1987 afin de servir de point central et de forum au Canada pour les questions d'intérêt national qui intéressent les secteurs scientifiques. Les services de secrétariat du CAIA du CNRC sont assurés par la Division de génie électrique.

En 1988, le Comité a surtout assuré des services de consultant du Conseil national de recherches pour l'élaboration de son programme de R&D orienté sur les applications dans le secteur de la technologie informatique et de l'intelligence artificielle. Le programme du CNRC constitue une part substantielle de la recherche en IA au Canada. Le Comité a terminé une analyse de ce programme à partir d'une description détaillée du programme préparée par le personnel du CNRC et d'un rapport rédigé pour le CNRC par un consultant. Le Comité a formulé certaines recommandations en vue d'aider à consolider ces activités.

En 1988–89, le comité a aussi

- conseillé les responsables de l'élaboration des politiques du gouvernement fédéral sur les nouveaux programmes de soutien à la recherche et au développement en IA
- entrepris la publication d'un bulletin d'observation mondiale sur les développements en IA, à partir de sources publiés, en plus de la publication trimestrielle «*Intelligence artificielle Canada*»
- presque terminé la rédaction d'un rapport substantiel sur le contexte social de l'intelligence artificielle, qui paraîtra en 1989.

«International Advanced Robotics Programme»

La Division de génie électrique assure les tâches de coordination et de représentation pour le Canada au Forum de coordination conjoint (FCC) de l'International Advanced Robotics Programme (IARP). En juin 1988, le Canada a été l'hôte à Ottawa d'une réunion des pays membres du Forum; le premier atelier international sur les applications robotiques de pointe en médecine et soins de santé commandité par le Forum s'est aussi tenu à Ottawa.

Publications

Le Bulletin CAO/FAO, distribué mensuellement par le Conseil canadien de CAO/FAO de 1979 à 1987, est toujours préparé à chaque mois et est transmis au DITECHNA de l'AMC sous forme manuscrite. Des extraits du bulletin sont publiés régulièrement dans «*Technology Source*», qui rejoint un large public au Canada. Le contenu du bulletin est aussi disponible en format électronique sur le babillard électronique que DITECHNA exploite sous forme de base de données en ligne accessible au public.

On a publié un rapport qui décrit les activités actuelles du CNRC dans le secteur de la CAO/FAO (CNRC 29225), qui s'ajoute à la collection documentaire d'articles par les chercheurs des diverses divisions travaillant en CAO/FAO et en robotique parus dans les rapports antérieurs (CNRC 28126, CNRC 27454).

Dans le cadre de l'élaboration de normes internationales en automatisation industrielle par l'organisation internationale de normalisation (ISO), nous préparons un glossaire terminologique sur l'automatisation industrielle en collaboration avec la Division de génie mécanique. On a distribué au groupe de travail de l'ISO un premier rapport, qui contient plus de 8000 termes et définitions présentement dans la base de données. Un deuxième rapport contenant seulement les termes issus des documents de l'ISO a été préparé et sera soumis à l'ISO. On prévoit aussi préparer un glossaire conjoint ISO/CEI sur l'automatisation industrielle en collaboration avec la Commission électrotechnique internationale (CEI).

Programme sur la sécurité publique

J. Arnold

Le programme sur la sécurité publique est le point central des recherches sur la lutte contre la criminalité effectuées par le Conseil national de recherches du Canada. Le CNRC collabore avec la Gendarmerie royale du Canada et l'Association canadienne des chefs de police sur le développement, les essais et l'évaluation de nouveaux produits et technologies et en vue de transférer les résultats des recherches à l'industrie canadienne. Il collabore au Canada avec l'industrie, les services de police et la communauté de la lutte contre la criminalité en vue de développer du matériel et des systèmes plus perfectionnés, plus efficaces et rentables du point de vue des coûts.

L'un des objectifs du Programme sur la sécurité publique est de coordonner et développer les activités de recherches en cours, en conformité des priorités de la communauté de la sécurité publique, définies surtout par le Comité de recherche opérationnelle (CRO) de l'Association canadienne des chefs de police.

Plusieurs gestes constructifs ont été posés l'an dernier pour réaliser cet objectif. Une étape majeure du projet Pathfinder a été atteinte, c'est-à-dire la réussite du lancement du système en août 1988. L'Association de surveillance de quartier d'Ottawa a apporté son soutien à la notion d'un système de surveillance électronique de quartier. La technologie d'identification par l'ADN mise au point par le CNRC et l'Hôpital pour enfants de l'est de l'Ontario a été transférée au Laboratoire judiciaire central de la GRC. Les ventes de «Lumalite» ont été très bonnes; il s'agit d'une lampe qui détecte non seulement les empreintes digitales latentes mais aussi d'autres traces à fluorescence naturelle laissées sur le lieu d'un crime, comme le sang, le sperme et les cheveux.

Pendant l'année dernière, on a beaucoup travaillé sur un nouvel objectif majeur, l'élaboration et la promotion du projet d'un Institut canadien de recherches policières, un organisme de recherches sans but lucratif qui servira de point central aux travaux des communautés de la police, de la sécurité, de la fabrication et de la recherche universitaire dans le secteur de la sécurité publique et des recherches sur la sécurité.

Plusieurs nouveaux développements ont été réalisés en vue de cet objectif. On a entrepris l'élaboration d'un plan d'affaires qui définira le contexte commercial pour les clients et partenaires potentiels de l'Institut. On a établi des contacts avec la Société canadienne de la sécurité industrielle, l'Association canadienne d'administrateurs de recherche universitaire, l'Association internationale de police des ports et aéroports et plusieurs ministères gouvernementaux. Une feuille de renseignements techniques a été produite qui explique le lien entre le CNRC et les communautés canadiennes de la police et de la sécurité.

Nous sommes à la deuxième année du plan quinquennal de recherche et développement, l'étape du «Nouveau système implanté». L'équipe du projet étudiera les résultats de l'année qui vient de se terminer et commence à mettre en place les organismes qui assureront le soutien au travail de l'Institut. Elle développera aussi un réseau dans les communautés de la police, des universités et de l'industrie et choisira un projet de démonstration important pour appuyer le projet de l'Institut.

Mémoires récents

Publiés

Egginton, R., et Scrimgeour, J. (Editeurs). Compte rendu de Premier atelier international sur les applications de la robotique dans les domaines de la médecine et des soins de santé, Ottawa (Ont.). 23–24 juin 1988. CNRC 29117.

Scrimgeour, J. Robotics. The Canadian Encyclopedia, Second Edition. Hurtig Publishers Limited, Edmonton (Alb.). 1988. p. 1881.

Scrimgeour, J. Patterns in the economic justification of CIM. Canadian CAD/CAM & Robotics. Juin 1988, pp. 18–20.

Scrimgeour, J. Computer integrated manufacturing. CSME Bull. Jan.: 4–11; 1989. CNRC 29732.

Scrimgeour, J.H.C., et Van den Berg, B. (Editeurs). CAD/CAM Activities at NRC: 1988. Juin 1988. 23 pages. CNRC 29225.

Présentés

Scrimgeour, J. Artificial intelligence in Canada. The Federation of Engineering and Scientific Associations, Toronto (Ont.). 21 novembre 1988.

Laboratoire de génie biomédical

Chef — O.Z. Roy

Objectif

Mandat

- Constituer un centre d'excellence pour la création, la distribution et l'application des connaissances et techniques du génie biomédical au soutien de la qualité de vie et des soins de santé, et collaborer avec l'industrie en vue du développement et de l'application des technologies qui permettront de réduire les coûts des soins de santé prolongés en institution ainsi que la nécessité de ce type de soins.

Objectifs stratégiques

- Améliorer la qualité de vie des handicapés physiques, des déficients développementaux et des personnes âgées par la conception, le développement, l'évaluation et l'application de dispositifs et de technologies conçus en vue des problèmes associés aux handicaps.
- Déterminer l'effet des rayonnements non ionisants sur le système biologique, de manière à comprendre les processus interactifs et les effets biologiques de ces rayonnements.
- Appliquer ces connaissances à l'élaboration de normes de performance et de sécurité en soins de santé et au développement de nouveaux appareils thérapeutiques et de diagnostic en collaboration avec les autres organismes de recherches et l'industrie du Canada.

Objectifs opérationnels

- Accroître les possibilités de diagnostic et l'efficacité thérapeutique des processus cardiaques en mettant au point des cathéters ultrasoniques capables de distinguer la plaque athéroscléreuse de la paroi d'un vaisseau sanguin viable.
- Accroître la mobilité des personnes atteintes de handicaps sévères et de personnes âgées en mettant au point des systèmes de capteurs qui peuvent être utilisés pour améliorer le système de commande des fauteuils roulants électriques.
- Améliorer le processus de consolidation des fractures en mettant au point de nouveaux systèmes de stabilisation qui optimiseront la vitesse de consolidation par des mécanismes d'immobilisation permettant une meilleure croissance et une meilleure réparation.
- Accroître les interactions entre le Laboratoire et les clients externes par le développement constant des installations de recherche, d'étalonnage et de création de prototypes.

Description du programme

Le réseau canadien des soins de santé comporte deux secteurs majeurs : les soins prolongés et les soins de courte durée. Le Laboratoire de génie biomédical travaille sur des questions issues de ces deux secteurs; il compte deux sections, l'Unité de technologie de la réadaptation (UTR), située à Toronto, et la Section de génie médical (GM), située à Ottawa.

Le programme d'adaptation/réadaptation développe, évalue et commercialise des technologies essentielles au secteur des soins prolongés. Le programme a porté surtout sur des appareils qui ont accru l'indépendance et amélioré la qualité de vie de personnes atteintes de handicaps sévères. Toutes les réalisations découlant de ce programme sont des produits destinés aux handicapés et fabriqués par de petites entreprises canadiennes. Bien que la plupart des travaux de développement et d'application soient réalisés par l'UTR, la Section de GM consacre une bonne partie de ces ressources à ces activités.

Dans le secteur des soins de courte durée, la Section de GM qui étudie les effets des rayonnements non ionisants a concentré ses efforts sur les ultrasons. Après les rayons X, le rayonnement ultrasonique est la forme de rayonnement et d'illumination la plus largement utilisée dans notre système de soins de santé. Bien que ce rayonnement soit très utilisé, le problème de la sûreté de son utilisation demeure un sujet de préoccupations. L'unité vise le développement de modèles biologiques sensibles et de méthodes de mesure qui permettront d'étudier des processus particuliers comme ceux du métabolisme. Les modèles et les techniques expérimentales fourniront des aperçus importants dans les mécanismes interactifs et la quantification des effets biologiques *in vivo*. Les modèles et méthodes sont utilisés

dans le cadre de projets en collaboration avec l'Ontario Cancer Clinic, Santé et Bien-être social Canada et Agriculture Canada. Les données scientifiques sont utilisées par des organismes nationaux et internationaux de normalisation.

Au cours de l'année dernière, on a vu plusieurs nouvelles initiatives dans le transfert de technologie, ainsi que dans les programmes conjoints de recherche et développement.

Transfert de technologie

- Les droits de commercialisation d'une nouvelle plaque contour de fixation antérieure de l'épine dorsale mise au point en collaboration avec l'Hôpital Civic d'Ottawa ont été accordés à Terray Manufacturing Inc. d'Arnprior (Ontario), qui entrevoit un vaste marché pour ce produit. La plaque améliore sensiblement la viabilité de patients affectés de dommages graves au côté avant (antérieur) de l'épine dorsale. La nouvelle technologie diminue le temps d'opération, fournit une meilleure stabilisation et élimine la nécessité de procédures multiples.
- Les droits de commercialisation de l'unicycle à cinq roues mis au point par la Section de génie médical ont été accordés à Ottawa Mobility Device Manufacturing Co. L'entreprise a été fondée spécialement pour fabriquer cette aide à la mobilité. L'usine de fabrication sera située à Almonte, en Ontario, et emploiera 22 personnes. L'appareil porte maintenant le nom de Romany et devrait être offert sur le marché vers la fin de 1989.
- La technologie de la thérapie anticancéreuse par hyperthermie mise au point par la Section de génie électromagnétique en collaboration avec l'Ontario Cancer Clinic a été transférée à Canadian Astronautics Limited. Le développement de cette technologie se poursuivra dans le cadre d'un programme conjoint de cette entreprise et de l'Ontario Cancer Clinic.

Programmes coopératifs

- Le Laboratoire a participé à la formulation de deux propositions de Centres d'excellence en réponse à la demande du Ministre d'État, Sciences et Technologie Canada. En collaboration avec le Laboratoire des systèmes intelligents et cinq groupes universitaires, il a élaboré une proposition pour un Centre d'excellence en recherche et développement dans la technologie de robotique avancée appliquée aux soins de santé. Il a également joué un rôle important dans une deuxième proposition sur le Réseau de recherche orthopédique et de technologie de la santé.
- Après six ans de travaux intensifs avec le Comité associé de la recherche et du développement du CNRC pour les personnes handicapées, le Laboratoire participe au financement de l'Institut canadien des sciences de la réadaptation (CRSI). Les activités de l'Institut porteront surtout sur la constitution de réseaux de chercheurs dans des universités, des institutions et des industries, afin de promouvoir la collaboration et le partage de l'information, d'encourager le recrutement et le développement de carrière du personnel en réadaptation et d'obtenir un consensus sur des solutions à des problèmes communs à plusieurs groupes différents d'handicaps.
- Le Laboratoire, en collaboration avec la Section de biophysique moléculaire de la Division des sciences biologiques, a mis au point une méthode de mesure et a développé une expertise unique au monde dans les paramètres biologiques mesurés ainsi que dans la vitesse et la précision de ces mesures. Cette technique a amené des projets coopératifs avec l'Institut du coeur d'Ottawa (sur la conservation du coeur en vue d'une greffe) et avec des compagnies pharmaceutiques multinationales pour l'étude des médicaments contre les maladies cardiaques.
- Le système de mesure d'étalonnage des faisceaux, mis au point en 1988, avec l'aide de la Direction générale de la protection de la santé de Santé et Bien-être social Canada, est utilisé pour la détermination rapide de la sortie de puissance acoustique de l'équipement médical à ultrasons. L'installation d'étalonnage fournit des services principaux de mesure aux hôpitaux, à l'industrie et à Santé et Bien-être social Canada.

Orientations et priorités futures

- Mettre au point un système de guidage par ultrasons et de caractérisation des tissus. On prévoit mettre au point, avec des clients externes et la participation des divisions, un système de guidage par ultrasons pour une sonde d'angioplastie au laser Excimer. La sonde devrait être suffisamment petite pour débloquer des artères de 1 mm de diamètre.
- Mettre au point un robot pour tenue de maison autonome et en faire la démonstration. On portera un effort accru sur l'application des technologies de la robotique aux

fauteuils roulants d'aujourd'hui. Ces travaux seront basés sur les technologies générales conçues dans nos laboratoires. Un système conçu pour un fauteuil roulant afin qu'il puisse éviter les obstacles et suivre un mur est à l'étude.

- Développer des installations d'évaluation et de conception pour des dispositifs orthopédiques implantés. L'accent dans l'année qui suit portera sur l'amélioration des installations du laboratoire et l'évaluation d'un nouveau dispositif d'immobilisation mis au point par le CNRC et le Technion Institute of Israel; la demande de brevet a été déposée. Le dispositif est révolutionnaire parce qu'il stabilise une fracture en torsion tout en permettant un mouvement limité de compression et de tension.
- Accroître les efforts portant sur le transfert des technologies et la recherche de revenus. Le Laboratoire poursuit intensément un certain nombre d'initiatives qui amélioreront sa compétence dans ce domaine d'une importance croissante. Bien que tous les projets de ce laboratoire soient essentiellement des projets coopératifs, seulement quelques-uns engendrent des revenus et permettent le recouvrement des coûts. Afin d'accroître le potentiel de transfert technologique et l'apport de revenus, le Laboratoire participe à l'élaboration de deux Centres d'excellence et prépare une proposition, de concert avec la Division des sciences biologiques, pour établir une nouvelle installation de résonance magnétique.

Section de génie médical

Chef — O.Z. Roy

Mise au point d'un véhicule autonome pour des applications en soins de santé

L.W. Korba, P.J. Nelson, N.D. Durie, S. Lang

Il s'agit d'un projet interlaboratoire auquel participent le Laboratoire de génie biomédical et le Laboratoire des systèmes intelligents. Le projet a commencé au début des années 1987 et se poursuit sous forme de deux activités distinctes mais reliées : d'une part, la mise au point et l'essai de spécifications détaillées pour des applications de véhicules autonomes en soins de santé, d'autre part la recherche de solutions techniques pour les problèmes généraux associés à de tels véhicules.

La sûreté est un élément-clé dans la mise au point de dispositifs de robotique ayant des applications en soins de santé. Au cours de l'année dernière, on a effectué un examen détaillé de la documentation se rapportant aux techniques de sûreté. Ce processus a souligné la nécessité de disposer de capteurs spécialisés, d'une structure visant la sûreté des commandes du matériel et du logiciel, ainsi que d'une description précise des dangers environnementaux.

Spécifications de l'application du véhicule autonome

Les travaux consistent à préparer des spécifications pour un véhicule autonome qui corresponde aux exigences de la population visée en ce qui a trait au dispositif de robotique pour soins de santé. La première étape en vue de répondre aux exigences des usagers et des examinateurs consiste à évaluer la population des usagers et leur environnement. Un contrat a été accordé en août 1988 au Centre de santé Elisabeth Bruyère (un établissement de soins prolongés pour les personnes âgées) situé à Ottawa, dans le but de prendre des mesures de l'environnement (dimensions des chambres et des meubles, schémas de la circulation, etc.) et d'évaluer les exigences des patients soit en examinant leurs dossiers soit par l'observation directe. La cueillette des données a commencé et un rapport sera produit au milieu de 1989. On a également formé une équipe constituée du personnel et de résidents qui travailleront en collaboration à la préparation du devis pour une application future de la robotique aux soins de santé. Lorsque le devis d'un dispositif de robotique sera suffisamment détaillé, on l'évaluera en construisant un modèle; on enregistrera sa performance simulée sur appareil vidéo et on présentera l'enregistrement vidéo au comité du personnel et des utilisateurs éventuels. Les spécifications détaillées seront mises au point par la répétition de ce processus.

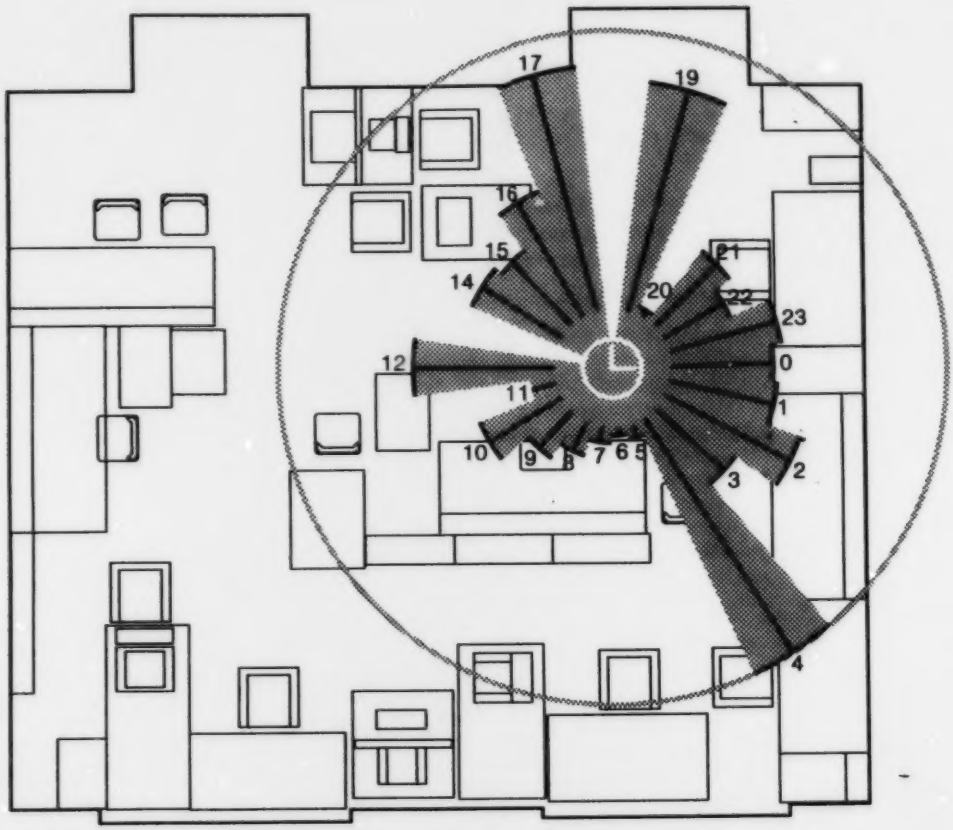
Développement des applications dérivées

L'application des technologies de la robotique aux fauteuils roulants d'aujourd'hui se poursuit. Un système de guidage des fauteuils roulants qui emploie des capteurs à ultrasons est à l'étude. Ce système de guidage ajoutera des caractéristiques (suivre un mur, détecter et éviter les obstacles, etc.) aux fauteuils roulants d'aujourd'hui. Des contacts ont été établis avec les fabricants de fauteuils roulants ainsi qu'avec le Hugh MacMillan Medical Centre et le Southwestern Regional Centre (ministère des Services sociaux et communautaires de l'Ontario) en vue d'obtenir leur collaboration dans ces développements.

Développement d'un capteur

Il faut mettre au point un système de captage qui puisse repérer et suivre les mouvements d'un être humain dans une pièce ou un corridor afin que le véhicule puisse trouver ou suivre un commandeur et déterminer les situations où il faut une attention particulière pendant le déplacement du véhicule. Au cours de l'année précédente, on a évalué un certain nombre de technologies à cette fin. Celles qui semblent prometteuses sont la thermographie pyroélectrique ou infrarouge et la télémétrie acoustique et d'ultrasons Doppler. Des travaux sur la caractérisation des réponses statiques et dynamiques de ces technologies sont actuellement en cours.

La plate-forme Cybermation K2A est la principale installation d'essais. Pour cette plate-forme, un réseau de capteurs de la direction des ultrasons disposés radialement autour de la plate-forme Cybermation a été mis au point. Ce système utilise trois modules de commande par transducteur de Denning Robotics et un contrôleur conçu spécialement à cette fin. Un programme informatique Macintosh permettant de mettre à l'essai le sous-système ultrasonique et de fournir un affichage visuel de sa performance a été élaboré (se reporter à la figure 1). Avec ce programme, on a recueilli



Sensor #	Range (cm)	Sensor #	Range (cm)
0	121	12	173
1	130	13	Out of range
2	164	14	125
3	112	15	115
4	299	16	157
5	44	17	264
6	38	18	Out of range
7	46	19	253
8	67	20	31
9	83	21	108
10	119	22	90
11	60	23	131

Controller Settings

Mode: (1) Far

Gain Profile: (1) Near Field Rejection

Maximum Depth Read: 3.0 m

Firing Delay: 0

Figure 1. Un exemple de rétroaction graphique provenant du programme d'exercice ultrasonique. Une vue en plan de la salle apparaît avec une variété d'objets différents. La figure circulaire représente l'arrangement ultrasonique et les lignes émanant du cercle représentent les distances mesurées par les capteurs.

des données préliminaires produites par le sous-système ultrasonique à l'aide de plusieurs cibles et réglages de capteurs. Ces données seront utilisées pour une intégration ultérieure des capteurs.

Un pare-chocs physique a été fixé et fournit une fonction d'arrêt à la plate-forme au cas où celle-ci toucherait un objet. Malheureusement, à cause de l'inertie et de l'absence d'un frein physique, la plate-forme continue à se

déplacer après l'établissement d'un contact. La première fonction des capteurs ultrasoniques sera de servir de pare-chocs à grande distance. Actuellement, un programme de commande qui fonctionnera avec le Système d'exploitation Harmony[1] et qui procurera une fonction de pare-chocs à grande distance (maximum 7 m) est en cours de développement. Les données du capteur ultrasonique seront ultérieurement combinées avec celles de divers autres capteurs pour améliorer la fiabilité du système.

Travail connexe

L'application de la robotique aux soins de santé exige l'examen de considérations spéciales. La sûreté, les aspects socio-politiques, les facteurs humains et les aspects technologiques sont des questions importantes. Dans une tentative visant à établir une collaboration formelle avec d'autres groupes de recherche, on a commencé une application pour un Réseau de Centres d'excellence en robotique appliquée aux soins de santé. Les principaux intervenants sont les suivants : l'École Polytechnique de Montréal, l'Université du Nouveau-Brunswick, le Vancouver General Hospital, Andronic Devices Ltd., le Hugh MacMillan Medical Centre et l'Université de Toronto. L'application s'intitule «A Network of Centres of Excellence for Research and Development in Advanced Robotics Technology Applied to Health Care».

Un inventaire international des activités de robotique en soins de santé a été établi et il sera distribué en 1989.

Orthopédie

R.C. Black, E. Kadamani, G.J. Merrett,[2] H.K. Uhthoff,[3] A. Foux,[4] D. Chow,[5] G.W.D. Armstrong,[5] J.P. Murnaghan,[5] J. Wilson,[5] S. Gilbert,[5] S. Harrison,[5] M. Lovas[5]

Implants spinaux

Une série d'implants qui fourniront une stabilisation antérieure à l'épine dorsale est actuellement mise au point. Le système a évolué à la suite de plusieurs reprises du prototype de conception effectuées avec la collaboration du Centre de technologie en production industrielle de la Division de génie mécanique.

Les méthodes de CAO/FAO ont été employées pour préparer des prototypes servant aux essais *in vitro*. Des protocoles d'évaluation existants pour la flexion, la torsion et la compression excentrique seront utilisés. De plus, une série d'essais visant à évaluer la fixation par vis à l'aide d'échantillons vertébraux porcins et cadavériques est prévue.

Plaques d'ostéosynthèse

Une série d'études préliminaires de comparaison du profil des contacts sur les plaques d'ostéosynthèse est presque terminée. Les essais biomécaniques non destructifs qui évaluaient l'efficacité des plaques d'ostéosynthèse expérimentales sont maintenant complétés. Dans cette recherche visant à déterminer le rôle que joue dans la guérison le modèle de l'implant et du contact avec l'os, on compare les modèles à contact entier (contour) et les modèles à contact sur les bords (avec cannelures). Une combinaison d'études mécaniques, d'études de vascularisation et d'études d'histomorphologie, qui formeront la base expérimentale de l'analyse, a été menée. Cette recherche s'est poursuivie en vue de déterminer la flexibilité axiale optimale des plaques d'ostéosynthèse. Un système de plaques expérimental (inventé en Israël) est à l'étape de la fabrication d'un prototype et de la vérification préparatoire aux essais *in vivo*.

Biomécanique de l'épaule

L'épaule est l'articulation la plus complexe du corps humain (un ensemble de cinq articulations interreliées). Les cliniques ne disposent pas de mesures objectives de son mouvement dépassant les évaluations goniométriques en un seul plan. Dans ce projet, des goniomètres comportant de 3 à 6 degrés de liberté sont mis au point.

Des essais approfondis sur une population de contrôle ont été menés avec un goniomètre à 3 degrés de liberté pour valider son utilisation dans les études cliniques. En collaboration avec le Département de mathématiques de l'Université d'Ottawa, le développement d'un logiciel pour les affichages graphiques et les algorithmes de soutien s'est poursuivi pour le goniomètre magnétique à 6 degrés de liberté. Des études de commande sont planifiées pour l'année à venir.

Formation de réseaux

Au cours de la dernière année, la principale initiative du CNRC sur les soins de santé abordables a reçu un soutien financier. Le Comité

---

[1] Marque déposée réservée à l'usage exclusif de sa Majesté du chef de la Société canadienne des brevets et d'exploitation Ltée.

[2] Division de génie mécanique.

[3] Hôpital Général d'Ottawa, Ottawa (Ontario).

[4] Technion — Institut de technologie d'Israël, Haifa, Israël.

[5] Travailleur invité.

d'évaluation du Conseil a approuvé cette initiative visant à réunir un consortium d'investisseurs publics et privés afin de développer des technologies qui permettront de limiter les coûts des soins de santé. Au cours de l'année dernière, on a tenu des conférences et des réunions qui ont amené la formulation d'une proposition sur un Centre d'excellence fédéral ainsi que la planification d'une Fondation pour recueillir des fonds et accorder un soutien financier aux propositions. La présente Section a fourni un appui technique au projet et a présenté le point de vue du laboratoire du CNCR dans les activités de planification.

La section a également participé à la formulation d'une proposition pour un Réseau de recherche orthopédique et de technologie de la Santé qui appuiera le développement de l'industrie canadienne des implants orthopédiques. Le rôle du CNRC portera sur le prototypage et les essais préalables à la mise en production.

Les effets des radiations non ionisantes

L'angioplastie au laser

A.J. Mortimer, J.-F. Nedelec

Un groupe interdivisionnel a été mis sur pied au sein du CNRC dans le but de s'attaquer au problème du développement d'un système d'angioplastie au laser par fibres optiques basé sur cathéter permettant de débloquer les artères coronariennes. Le problème qu'un tel système doit résoudre est de décoller la plaque à l'intérieur d'un vaisseau sanguin tout en conservant intacte la paroi de celui-ci. Une sonde à ultrasons capable de distinguer la plaque de la paroi du vaisseau sanguin à l'intérieur de l'artère coronarienne a été mise au point. La sonde utilise un élément à ultrasons de 1,5 mm de diamètre qui émet des impulsions ultrasoniques de 20 MHz. Les signaux émis par ces impulsions servent à produire des images de la plaque et de la paroi du vaisseau sanguin. Au cours de la dernière année, la démonstration du système a été faite sur des modèles d'animaux et des échantillons de tissus humains. Les efforts ont porté sur le développement de méthodes simples permettant la différenciation entre la plaque coronarienne et la paroi du vaisseau sanguin. De nombreuses données ont été recueillies et des critères de sélection ont été préparés. L'algorithme devrait être intégré dans le système au milieu de l'année 1989.

L'exploitation de cette technologie est actuellement en cours de négociation avec un important fabricant d'appareils médicaux.

Ultrasons de diagnostic

La recherche et le développement dans les ultrasons de diagnostic ont porté sur l'amélioration des installations de mesure et d'étalonnage pour les instruments de diagnostics médicaux ainsi que sur des études traitant de la sûreté des ultrasons de diagnostic.

Mesures et étalonnage

Un système d'étalonnage de pointe (figure 2) qui peut mesurer les niveaux de radiation des ultrasons de tout l'équipement de diagnostic utilisé actuellement dans les cliniques a été installé et rendu opérationnel. Le système utilise un hydrophone polymère à plusieurs éléments et il est le seul du genre du Canada.

Les éléments ont été étalonnés d'après les normes internationales. L'installation est actuellement utilisée par les gouvernements, l'industrie et le monde médical pour les mesures en dosimétrie.

Sûreté des ultrasons

La sûreté des procédures requises par suite de l'introduction de nouveaux instruments d'ultrasons de diagnostic à plus grande puissance utilisés pour l'imagerie en circuit Doppler pulsé a fait l'objet d'une attention accrue, au point même qu'un fabricant a rappelé des unités d'ultrasons cliniques afin de réduire leur puissance de sortie. À la demande de la communauté des radiologues, des études théoriques sur la chaleur dégagée par le cerveau néo-natal ont été effectuées et des modèles ont été mis au point afin de prédire l'élévation de la température dans le cerveau au cours des procédures de diagnostic.

Des études expérimentales du potentiel de cavitation dans les tissus se sont poursuivies. Un gel imitant les tissus et contenant le dosimètre à l'acide terphtalique, mis au point dans le présent laboratoire, a été utilisé pour relier les résultats expérimentaux précédents à la situation *in vivo*. Les résultats de ces études, montrés à la figure 3, indiquent que dans la plupart des systèmes cliniques, il est peu probable que la cavitation acoustique se produise dans les tissus. Toutefois, à l'intérieur du corps, la cavitation dans les fluides peut se produire.

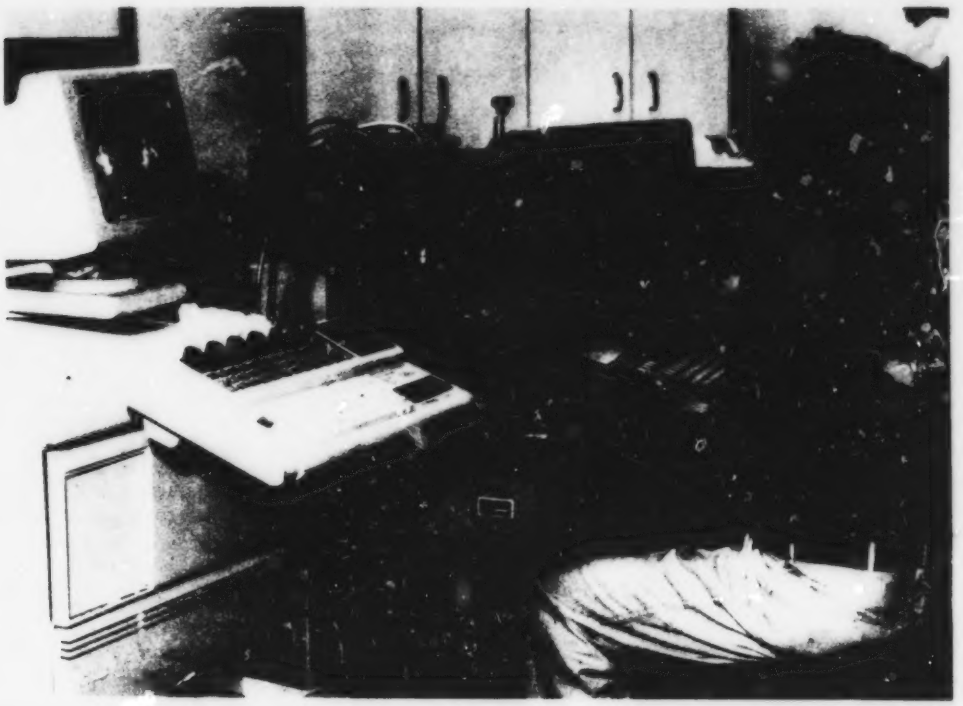


Figure 2. Le système de dosimétrie à ultrasons du CNRC pour la mesure des instruments d'ultrasons de diagnostic.

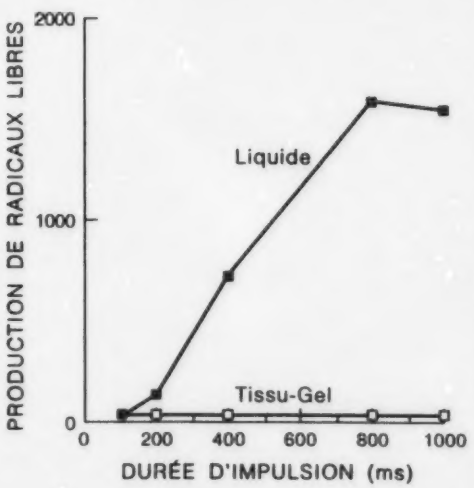


Figure 3. Mesures de radicaux libres générés acoustiquement dans des liquides (■) et des gels (❑) par des ultrasons pulsés.

Effets biologiques des ultrasons

G.V. Forester

On a trouvé que le coeur est un modèle sensitif qui convient à l'étude des effets biologiques des ultrasons. L'utilisation de la spectroscopie à résonance magnétique (SRM) servant à mesurer la teneur en substrats métaboliques dans les coeurs a montré que l'application d'ultrasons améliorait le flux d'énergie dans le coeur afin de soutenir la fonction contractile. Les données de ces expériences ont démontré que les ultrasons pourraient être utilisés en clinique pour favoriser la récupération des coeurs sevrés d'un pontage cardiopulmonaire (machine coeur–poumon).

Des expériences ont été faites sur des coeurs de rats en faisant appel à une cardioplégie à froid, une solution utilisée en clinique pour arrêter et protéger le coeur pendant l'opération chirurgicale (figure 4). Comme prévu, le degré de récupération était inversement proportionnel au temps d'arrêt. La cardioplégie à froid a permis au coeur de survivre pendant 45 à 60 min. Les coeurs qui avaient subi une autre perfusion après 60 min n'ont pas récupéré. Cependant, lorsqu'on a appliqué des ultrasons durant les 2 à 3 premières minutes de reperfusion, les coeurs ont récupéré 100 % de leur fonction contractile tel qu'indiqué par l'indice de récuperation 1.

Des modèles de coeurs ayant subi une perfusion en vue d'études de préservation myocardique à long terme ont également été mis au point. Des études se poursuivent en collaboration avec la Section de biophysique moléculaire de la Division des sciences biologiques, dans lesquelles on emploie la spectroscopie à résonance magnétique pour évaluer l'état

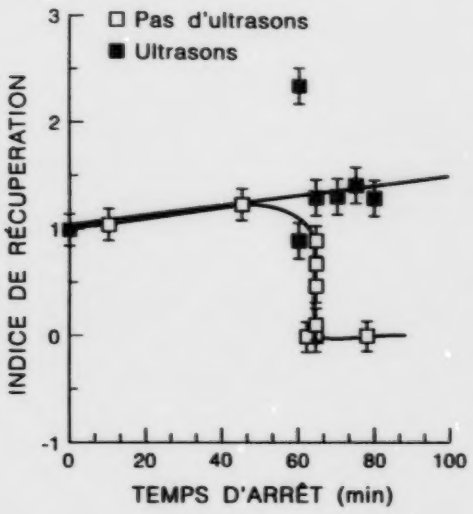


Figure 4. Effets des ultrasons sur la capacité de récupération (Indice de récupération) de coeurs de rats isolés ayant subi une perfusion soumis à un arrêt cardioplégique à 37°C. Après 60 min d'arrêt, les coeurs de contrôle (□) n'avaient pas récupéré par comparaison avec les coeurs traités avec ultrasons (■) durant les 2 à 3 premières minutes de reperfusion.

métabolique des coeurs au cours des procédures de préservation et durant la reperfusion des coeurs destinés aux greffes.

Le modèle de gros coeur de porc mis au point dans notre laboratoire a été utilisé afin d'évaluer la fonction contractile et métabolique pour le compte du Conseil de canola du Canada et Agriculture Canada, dans le cadre d'un vaste programme visant à encourager l'emploi de l'huile de colza canola dans la production de la nourriture pour bébés.

Paradigmes de découverte pour la classification taxonomique des maladies

D. Crabtree, J.W. Brahan, H.T. Mount,[1] M. Niktash,[2] I.S. Pressman[2]

Depuis 1987, une équipe de collaborateurs provenant de plusieurs ministères et institutions a étudié la faisabilité de la classification des maladies par la méthode de l'apprentissage par la découverte. Plus précisément, l'équipe a choisi des méthodes d'évaluation de groupage conceptuel, un sujet de recherche actuel en intelligence artificielle. Le groupage conceptuel se distingue des autres méthodes de groupage par la combinaison de connaissances explicites dans un domaine d'une part, et des données d'autre part. Le domaine médical choisi pour ce projet est un ensemble de maladies mal différenciées connues sous le nom de dégénérescence familiale de la rétine (DFR).

L'impulsion donnée à ce projet provient d'une demande traitant d'une évaluation du groupage de concepts dans le but d'obtenir des applications pratiques, en vue d'appliquer éventuellement des méthodes validées à la classification de la DFR. D'une part, les classifications formelles de maladies sont fondamentales à l'avancement de la science médicale et, d'autre part, la perspective que cette étude de faisabilité ouvre des pistes dans l'identification d'une méthodologie générale applicable à d'autres classifications imparfaites de maladies ainsi qu'à des problèmes analogues non médicaux, présente un motif supplémentaire.

Pendant la durée du projet, l'équipe a mis au point un modèle de réseau sémantique pour les connaissances médicales dans le domaine de la classification DRF. Ce modèle est basé sur des concepts d'état qui comprennent des états de maladie et plusieurs états secondaires prenant des gammes de valeurs symboliques ou numériques. Des arcs orientés relient ces valeurs à des états «d'ordre plus élevé» et chaque arc possède une valeur qui représente son degré d'importance dans le processus de classification. L'équipe a également mis au point des modèles mathématiques pour quelques «fonctions d'état» qui déterminent les valeurs de sortie, à condition que les entrées soient cohérentes par rapport aux arcs orientés et les valeurs d'état «d'ordre inférieur» identifiées dans le modèle de réseau. L'équipe a déterminé les exigences se rapportant au projet. Elle a créé et raffiné une base de données contenant les dossiers des patients sujets à la dégénérescence familiale de la rétine. Elle a identifié des «états pénultièmes» dont les valeurs sont incluses directement dans le modèle de groupage en cours de développement. Elle a choisi des techniques spécifiques de groupage pour évaluation. Elle a fait des expériences de classification avec la technique choisie et elle a évalué les résultats des expériences.

[1]Hôpital Civic d'Ottawa, Ottawa (Ontario).
[2]Université Carleton, Ottawa (Ontario).

Sciences de la vie dans l'espace

R.C. Black, A.J. Mortimer

Au cours des six dernières années, le Laboratoire de génie biomédical a collaboré avec la

Division de l'espace dans le domaine des sciences de la vie dans l'espace. Les chercheurs canadiens participent maintenant à des recherches dans les secteurs suivants : le système neuro-vestibulaire, le métabolisme calcique et osseux, la consommation énergétique, l'embryologie, les phénomènes cardio-vasculaires et cérébro-vasculaires, les changements de posture, la télémédecine et la cristallisation des protéines.

Le fait saillant de la dernière année a été une meilleure collaboration scientifique avec l'Union soviétique grâce à laquelle deux expériences canadiennes sur la vie dans l'espace seront effectuées à bord du satellite soviétique Mir. Des groupes de travail mixtes composés de partenaires internationaux amélioreront une telle collaboration.

Des plans à long terme comprennent le développement des occasions de participer aux travaux de la station spatiale internationale Freedom lorsque les installations seront disponibles au milieu des années 90.

Mémoires récents

Publiés

Gilbert, S.G., et Black, R.C. Commercialization of an orthopaedic implant. Compte rendu de la 14e Conférence de la Société canadienne de génie biomédical, Montréal (Qué.). 28–30 juin 1988. pp. 93–94. CNRC 30615.

Hranchuk, K.B., Durie, N.D., et Farley, R. Stereotyping in Developmentally Delayed Children: Contingent and Non-contingent Movement. CNRC/ERB-1014. Février 1989. 21 pages. CNRC 29418.

Hranchuk, K.B., Charbonneau, J.R., et Ehrenworth, J. An Electronic Device for Communication in Developmentally Delayed Children. CNRC/ERB-1015. Février 1989. 12 pages. CNRC 29417.

Hranchuk, K.B., Ehrenworth, J., et Charbonneau, J.R. Use of Synthesized Speech for Communication in Non-vocal Developmentally Delayed Children. CNRC/ERB-1016. Février 1989. 5 pages. CNRC 29416.

Korba, L.W., et Vasa, J.J. SIMKA — A simple keyboard adapter. Proceedings from the International Conference of the Association for the Advancement of Rehabilitation Technology, Montréal (Qué.). 25–30 juin 1988. pp. 366–367. CNRC 29481.

Korba, L.W., Liscano, R., Green, D., et Durie, N. Issues concerning the development of a mobile platform for health care applications. Proceedings of SPIE Conference, Mobile Robots III, Cambridge (MA). 10–11 novembre 1988. pp. 309–313. CNRC 29599.

Lang, S.Y.T., et Wong, A.K.C. Graph synthesis for knowledge acquisition in mobile robots. Proceedings of the International Computer Science Conference '88, Hong Kong. 19–21 décembre 1988. pp. 549–557. CNRC 29839.

Mortimer, A.J. Canadian participation in international biosatellite programs. Proceedings of the Workshop on Experimentation in Aircraft and Rockets. Ottawa (Ont.). 5–6 mai 1988. pp. 39. CNRC 29151.

Mortimer, A. The use of sounding rockets in the study of microgravity cell biology. Proceedings of the Workshop on Experimentation in Aircraft and Rockets, Ottawa (Ont.). 5–6 mai 1988. pp. 91–91. CNRC 30616. (Long résumé.)

Mortimer, A.J., et Dyson, M. The effect of therapeutic ultrasound on calcium uptake in fibroblasts. Ultrasound Med. Biol. 14(6): 499–506; 1988. CNRC 29802.

Mortimer, A.J., Trollope, B.J., et Villeneuve, E.J. Acoustic streaming as a mechanism for biological effects of pulsed ultrasound. J. Ultrasound Med. 6: 547–549; 1988. CNRC 30617. (Long résumé.)

Mortimer, A.J., Trollope, B.J., Villeneuve, E.J., et Little, I. Cavitation due to diagnostic pulse trains. J. Ultrasound Med. 6: 541–543; 1988. CNRC 30618. (Long résumé.)

Mortimer, A.J., Trollope, B.J., Villeneuve, E.J., et Roy, O.Z. Ultrasound-enhanced diffusion of oxygen through isolated frog skin. Ultrasonics, 26: 348–351; 1988. CNRC 29803.

Présentés

Black, R.C., Foux, A., et Uhthoff, H.K. The influence of fracture plates on the directional strength of whole bone. Annual Meeting of the Canadian Orthopaedic Research Society, Ottawa (Ont.). 5–9 juin 1988.

Korba, L.W. The Laboratory for Biomedical Engineering at the National Research Council of Canada, Department of Electronics, Université Carleton, Ottawa (Ont.). 25 octobre 1988.

Korba, L., et Nelson, P.J. Robots in healthcare. Séminaires, Elisabeth Bruyère Health Centre, Ottawa (Ont.). 19 janvier 1989; 10 février 1989.

Mortimer, A. Physical basis for ultrasound therapy. Canadian Physiotherapy Society Fall Meeting, Montabello (Qué.). 24 septembre 1988. (Invité.)

Mortimer, A.J. Space life sciences in Canada. American Society for Gravity in Space and Biology. Washington (DC). 21–23 octobre 1988.

Mortimer, A.J. Recent advances in the study of the biological effects of diagnostic ultrasound. CNRC/DGE Association de la Science, Ottawa (Ont.). 1er novembre 1988.

Mortimer, A.J., Trollope, B., Villeneuve, E., et Little, I. Cavitation due to diagnostic pulse trains. American Institute of Ultrasound in Medicine, Annual Meeting, Washington (DC). 21 octobre 1988.

Nelson, P.J. New augmentative communication technology. Séminaire, Centre de réadaptation, Services de santé Royal Ottawa, Ottawa (Ont.). 11 mai 1988.

Nelson, P.J. Man-machine communication for disabled persons. Department of Computer Science, Université Concordia, Montréal (Qué.). 21 octobre 1988. (Invité.)

Unité de technologie de la réhabilitation

Chef — J. Batelaan

Technologie de la production d'aides pour handicapés

J. Batelaan, W.G. Bennett, I.P. Clark, A.J.W. Liu

Le travail de développement sur le DIRECT, décrit dans le *Bulletin* 3(2), est maintenant rendu à la première étape de la fabrication. Les 10 premiers systèmes sont maintenant produits pour commercialisation par TASH Inc. Comme avec tout nouveau produit, plusieurs problèmes de conception et de fabrication ont dû être résolus avant et pendant ce processus de transfert de technologie. Un certain nombre de dispositifs plus petits ont également été mis au point et transférés à TASH; ceux-ci comprennent notamment deux interrupteurs spéciaux, des ferrures de montage d'interrupteur, un contrôleur pour un lit électrique et un contrôleur pour une machine à dicter. L'un des sous-projets les plus complexes et les plus importants en cours de développement durant cette période a été une aide à la communication, appelée le TALK-O. Ce système est décrit plus en détail ci-dessous.

TALK-O

Le TALK-O est un dispositif à microprocesseur qui assiste les personnes non parlantes à handicaps multiples atteintes de troubles de communication (figure 1). Il a été mis au point pour satisfaire aux exigences identifiées par les professeurs et les cliniciens oeuvrant dans le domaine des communications augmentatives.

Ceux qui travaillent sur les problèmes de communications interpersonnelles causés par des handicaps physiques ou mentaux sérieux cherchent depuis longtemps des solutions au handicap sévère qu'est la privation de la parole. Ce handicap est d'autant plus grave dans le cas des enfants handicapés parce qu'il y a une relation étroite entre les aptitudes de communication de l'enfant et son développement global. Un dispositif capable de reproduire les sons d'une voix humaine constitue par conséquent une composante très utile de ce qui pourrait être une prescription à plusieurs volets pour des communications augmentatives. La synthèse électronique de la parole a été utilisée sous la forme d'une boucle de bande magnétique, d'un vocoder analogique, de synthèse numérique de texte à parole, d'échantillonnage de signaux numériques ainsi que sous la forme de signaux numériques. Toutefois, les dispositifs produits étaient soit limités dans leurs fonctions, difficiles à utiliser ou très coûteux. Le besoin reste pour un enregistreur numérique de la parole qui soit robuste, facile à utiliser et à entretenir, autonome et suffisamment souple pour que l'utilisateur choisisse une expression.

Pour répondre à ces besoins, un projet conjoint du Département de génie de la

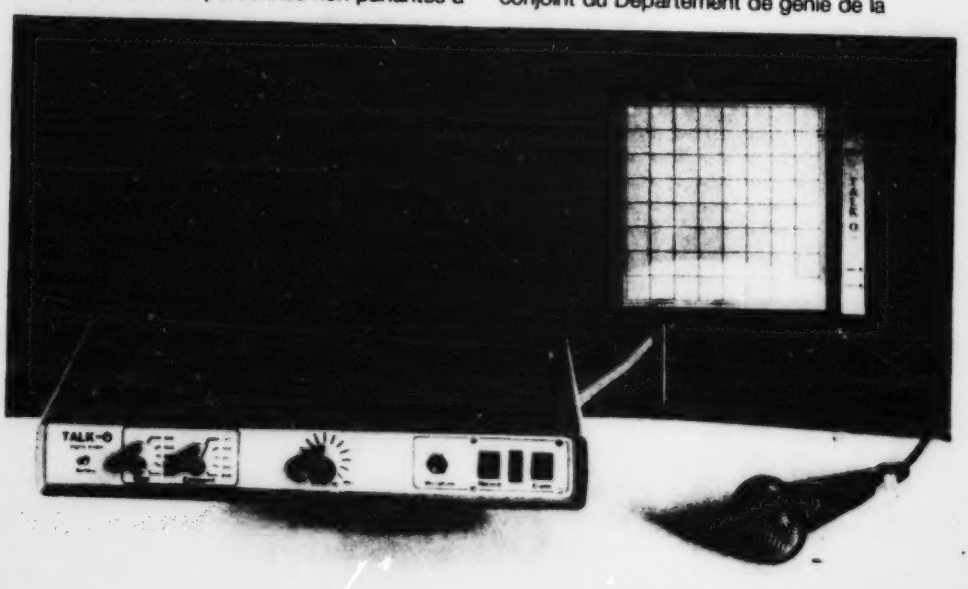


Figure 1. Aide à la communication TALK-O pour handicapés non parlants.

réhabilitation et du Service des communications augmentatives du Hugh McMillan Medical Centre (HMMC) et du Institute of Biomedical Engineering de l'Université de Toronto a été organisé afin de mettre au point un enregistreur numérique sur micro-ordinateur appelé le TALK-O. L'interface de l'utilisateur a été élaborée au moyen d'entrevues et d'essais avec les cliniciens, les professeurs et les enfants du HMMC, qui sont relativement nombreux. Le matériel a été construit par Rabindra Nauth, un étudiant diplômé de l'Institut. Dans sa forme complétée, le prototype TALK-O offre un choix de 64 expressions, choisies soit par un clavier ou encore un tableau 8 x 8 à balayage lumineux.

À partir de ce prototype, l'UTR a défini plus précisément les exigences d'un système TALK-O de production, en consultation avec le personnel du HMMC. Commutron Ltd. s'est vu attribuer le contrat de la mise au point des composants électroniques d'un modèle prototype de présérie. Le personnel de l'UTR a poursuivi la conception et la fabrication de l'emballage du produit. Les essais sur le terrain et l'évaluation de ce modèle ont amené des précisions ultérieures. La première sortie de production de TALK-O a été livrée à TASH, Inc. à la fin de 1988.

Dans sa forme offerte dans le commerce, le TALK-O comprend une boîte de commande, un microphone extérieur, un chargeur de batteries et un tableau de balayage à DEL. TASH Inc. fournit des commutateurs spéciaux ou une manette servant à commander le scanner ou encore un clavier parmi les divers types offerts. L'unité peut mémoriser 128 expressions différentes d'une durée totale de 120 s. Elle préserve sa charge provenant de la batterie en captant l'entrée de l'utilisateur et elle peut fonctionner plusieurs jours sans être rechargée. Un large éventail de commandes de variables telles que la vitesse du balayage et le temps de réponse est facilement accessible. On a pris soin d'inclure des dispositifs de verrouillage ou le retour à l'utilisateur; ceux-ci sont nécessaires pour éviter un mauvais fonctionnement apparent causé par un mauvais ajustement de l'unité. La procédure d'enregistrement est si simple qu'elle pourrait être effectuée par un enfant de cinq ans.

La technologie ADPCM d'un téléphone standard est utilisée pour les éléments analogique–numériques. Elle est disponible sous une forme hautement intégrée et la qualité de reproduction du son répond aux exigences de cette application. Un microprocesseur HD64180 et un EPROM fournissent la logique de commande ayant 1/2 M-octet de mémoire statique à MOS complémentaire et à accès sélectif comme support d'information.

Le balayage lumineux à DEL était particulièrement difficile à concevoir, en raison du faible volume de production prévu. Il s'agit d'un panneau éclairé par l'arrière avec superposition d'images personnalisées pour représenter les expressions enregistrées. Le panneau est la deuxième pièce de feuille plastique formée sous pression conçue par l'UTR. La technique de formage sous pression permet une définition plus nette et une meilleure précision; de plus, les coûts d'outillage ne sont pas tellement plus élevés que les coûts du procédé de formage sous vide. Le personnel de l'UTR a travaillé avec un fabricant de plastique local pour introduire dans son atelier la technique de formage sous pression. Une carte de circuits imprimés contient des DEL de grande intensité ainsi que toutes les commandes de lecture. Une plaque arrière noire en métal fournit la rigidité nécessaire au montage sur un fauteuil roulant. Un contrôle numérique au moyen de trous percés dans la feuille de métal assure la précision et permet d'assembler les pièces avec un minimum d'assemblage à la main.

Mémoires récents

Publiés

Kerr, S.A. Sue's Story. Rehab. Digest, Summer 1988. CNRC 29004. *Une partie réimprimée dans* Windows on Technology, 4(6): 7–8; 1988.

Thakkar, A.J., Liu, J.W., et Lie, G.C. Momentum-space properties of N_2. Phys. Rev. A, 36(11): 5111–5117; 1987.

Laboratoire de génie électromagnétique et d'énergie

Chef (par intérim) — M.M.C. Collins

Objectif

Mandat

- Établir, au moyen de recherches appliquées en collaboration avec des compagnies d'électricité et fabricants canadiens et avec d'autres ministères, des normes, des procédures d'essai et des connaissances techniques dans les domaines suivants : mesures de précision, comptabilité électromagnétique et diélectriques.

Objectifs stratégiques

- Prévoir les besoins relatifs aux mesures électriques de l'industrie canadienne de l'électricité et y répondre en développant des appareils et techniques de mesure de pointe et en établissant des connaissances de base reliées à des activités critiques comme l'élaboration de normes nationales et internationales relatives aux mesures de précision en électricité et aux essais de vieillissement accéléré de matériel et matériaux électriques.
- Améliorer la compréhension des parasites électromagnétiques (EMI) et de la compatibilité électromagnétique (EMC) afin de développer des appareils de diagnostic et des installations d'étalonnage et d'essai, et de contribuer à l'élaboration de normes nationales et internationales dans ces domaines.

Objectifs opérationnels

- Augmenter, pour 1989–90, la capacité des méthodes de mesure de précision en élargissant la bande passante de l'installation d'étalonnage non sinusoïdal, en étendant la plage de fréquences du pont de mesure de puissance et en ajoutant une fonction de formes d'ondes déformées au simulateur de pertes dues à la charge.
- Obtenir un appui financier supplémentaire de l'Électric Power Research Institute (EPRI), aux États-Unis, et de compagnies d'électricité canadiennes en vue d'entreprendre une recherche de base permanente des mécanismes de rigidité diélectrique des isolants.
- Obtenir de l'industrie canadienne un appui en vue de l'étude continue des effets qu'ont les stabilisants uv et les gaz dissous sur les isolants polymères. Cette démarche est particulièrement opportune en raison du plus grand nombre actuel de fournisseurs et de types de matériau; il importe de produire de polymères de spécialité pour isolants HT.
- Donner avis, aux termes de l'engagement envers le ministère de la Défense nationale (MDN), quant aux procédures d'immunisation contre le brouillage électromagnétique pour le nouveau projet d'aéronef embarqué.
- Achever, pour 1989–90, le générateur d'impulsions destiné au simulateur d'impulsions électromagnétiques d'origine nucléaire (NEMP) à ondes limitées du Centre de recherches pour la défense/Ottawa (CRDO).

Description du programme

Au sein du Laboratoire de génie électromagnétique et d'énergie, trois groupes veillent à l'exécution du programme de la Division.

L'objectif du groupe des mesures de précision est de prévoir les besoins relatifs aux mesures électriques de l'industrie canadienne et d'y répondre en développant de nouveaux appareils et techniques de mesure améliorés. Les domaines à l'étude sont les mesures de puissance (y compris les formes d'onde déformées), les techniques de transfert de tensions dans le but d'améliorer la précision des mesures de tension c.a. par rapport à un étalon c.c. et l'étalonnage de divers types d'appareils tels que transformateurs de mesure et appareils de mesure électrique. Un nouveau service majeur est l'étalonnage sur place d'appareils de mesure des pertes utilisés par des fabricants de grands transformateurs d'alimentation et de bobines inductives à l'aide d'un simulateur précis de pertes dues à la charge et à facteur de puissance réduit, appareil mis au point par le groupe. Comme activité nouvelle, on compte la mesure des champs électromagnétiques environnementaux adaptée au foyer, au bureau et à l'extérieur.

L'objectif du groupe des isolants électriques est de déterminer les mécanismes de la détérioration à long terme d'isolants électriques soumis à de fortes contraintes électriques et de développer, à partir de ces études de base, des essais normalisés de vieillissement

accéléré qui soient utilisables pour l'industrie. Le vieillissement accéléré doit être représentatif du vieillissement en service et ne doit pas introduire des mécanismes de vieillissement qui ne se produisent pas normalement en service. Les études se sont concentrées sur le vieillissement de polymères utilisés dans des câbles HT. Ces études ont montré que les mécanismes de vieillissement diffèrent selon que les câbles sont utilisés en milieu sec ou en milieu humide.

L'objectif du groupe de brouillage et de la compatibilité électromagnétique est de faire avancer l'état actuel de la technique du domaine en cause tout en mettant l'accent sur les mesures d'impulsions utiles à l'industrie canadienne, à la sécurité publique et à la défense nationale. Ce groupe contribue aux normes nationales et internationales relatives au EMI et à la EMC et a établi des installations d'essai et d'étalonnage appropriées. Les activités principales du groupe sont dans les domaines : mesures du EMI, production du EMI, modélisation numérique, étalonnage des circuits de mesure et immunisation des circuits électroniques contre le brouillage électromagnétique.

Transfert de technologie

- Le simulateur de pertes dues à la charge est de plus en plus utilisé dans l'industrie. Parmi les récents étalonnages de circuits de mesure d'essai industriels, on compte ceux de ABB Electric (Waukesha, Wisconsin) et de Ferranti Packard (Dunkirk, New York, et St. Catharines, en Ontario).
- Une étude a été achevée, pour le compte de l'Association canadienne de l'électricité, portant sur l'incidence des harmoniques sur les voltampèremètres et wattmètres.
- Des brevets ont été octroyés pour le wattmètre du type à comparateur de courant, servant à mesurer les courants HT à des facteurs de puissance très faibles, pour l'étalon de pertes dues à la charge, servant à mettre à l'essai et à étalonner les circuits de mesure de courants HT, pour le transformateur de courant à circuit électronique et, enfin, pour le nouvel appareil de transfert c.a./c.c. Le transfert de ces technologies aux industries se poursuit.
- La bande passante des installations d'étalonnage pour transformateurs de mesure et appareils de mesure d'électricité a été élargie en vue de satisfaire aux besoins de l'industrie quant au brise-glace Polar 8.

Programmes coopératifs

- Les travaux relatifs au EMI et à la EMC sont effectués en collaboration avec le MDN. Deux membres du personnel du CNRC ont été détachés pour travailler au CRDO. En outre, des contacts ont été établis avec des représentants de l'industrie canadienne et d'autres ministères, comme Bell Northern Research, Oerlikon Canada, Transports Canada et la Gendarmerie royale du Canada, entre autres, quant à l'analyse et à l'essai des impulsions électromagnétiques.
- Le groupe des diélectriques exécute plusieurs programmes coopératifs menés avec les compagnies d'électricité canadiennes et avec l'industrie canadienne en général. Ces programmes visent une compréhension du processus de vieillissement, un développement de méthodes d'essai permettant d'accélérer le vieillissement et la recherche de matériaux isolants qui retarderont ce processus.

Orientations et priorités futures

Comme dans le passé, le Laboratoire entend miser sur ses nombreux contacts avec les représentants de l'industrie de l'électricité, sur une base individuelle comme sur la base d'une participation active à des comités techniques, en vue de s'enquérir de leurs préoccupations et de pronostiquer leurs besoins futurs.

- Le groupe des mesures de précision continuera à mettre l'accent sur le développement d'instruments améliorés qui permettront des mesures électriques dans un circuit exposé à des charges non linéaires. Les efforts visant l'automatisation des méthodes de mesure se poursuivront également, en vue de répondre à une demande accrue de l'industrie en termes d'étalonnage et de satisfaire aux exigences de mesure plus rigoureuses de la recherche moderne.
- Les essais de vieillissement accéléré et de diagnostic menés sur les matériaux isolants se poursuivront, en collaboration avec les compagnies d'électricité et fabricants canadiens. Avec l'appui partiel de l'Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ), les études de base sur le mécanisme du vieillissement progressent. Le CNRC, en collaboration avec deux compagnies d'électricité canadiennes, entend demander un appui supplémentaire pour pousser davantage la recherche fondamentale reliée à ce domaine.
- Actuellement, le MDN demeure le principal client du Laboratoire en ce qui a trait aux travaux menés sur le EMI et la EMC; le transfert au MDN de la technologie d'immunisation contre les impulsions électromagnétiques s'étendra sur une période supplémentaire d'au moins trois ans.

Section d'énergie

Chef — W.J.M. Moore

Mesures de précision en électricité

E. So, W.J.M. Moore, R. Arseneau, P.S. Filipski, T.R. McComb

Comptage de l'électricité

Le groupe continue de travailler à l'automatisation du fonctionnement du pont de mesure de puissance et à l'augmentation de ses plages de tension et de courant ainsi que de sa gamme de fréquences. Measurements International Limited (Prescott, Ontario) s'est vu octroyer le contrat de la fabrication du comparateur de courant et de la mise au point d'un balayeur pour la commutation des spires d'enroulement.

Le groupe utilise actuellement le nouveau générateur étalon de tension c.a. commandé par ordinateur pour tensions, puissances et courants sinusoïdaux et déformés, dans l'étalonnage des wattmètres (puissance active), des varheuremètres (puissance réactive) et des wattheuremètres. Le groupe continue de travailler à l'augmentation des plages de tension et de courant ainsi que de la gamme de fréquences du générateur.

Les travaux en vue du développement d'un wattmètre étalon à répartition dans le temps à large bande se poursuivent. L'utilisation de nouveaux composants électroniques a permis de faire passer de 100 kHz à 500 kHz la fréquence porteuse. Grâce à cette fréquence porteuse plus élevée, les erreurs théoriques du wattmètre à 5 kHz tombent à 90 ppm (1500 ppm à 20 kHz). Les erreurs totales obtenues avec le modèle d'étude se sont avérées inférieures à 100 ppm à 1 kHz, avec des valeurs linéaires très prometteuses. Des essais récents ont montré que la stabilité dans le temps du wattmètre en cause est de l'ordre de 80 ppm/mois. Les travaux pour réduire cette marge d'erreur progressent également.

L'ajout d'un nouvel ordinateur de commande et de noveaux générateurs d'ondes au circuit d'étalonnage triphasé a permis d'en améliorer le degré de précision et de stabilité général. La précision du circuit convient maintenant aux étalonnages sinusoïdaux triphasés comme aux étalonnages non sinusoïdaux effectués sur les meilleurs appareils de mesurage aux fins de facturation.

Le contrat nº 043-D-610 passé avec l'Association canadienne de l'électricité — une étude traitant des effets des harmoniques sur les wattheuremètres et les voltampèremètres — a été achevé; le rapport final en a été publié par l'ACE en mai 1988. Des échanges avec l'ACE ont cours quant à l'octroi de nouveaux contrats de recherche sur le circuit triphasé.

Un nouvel instrument qui mesure sur place les erreurs des voltampèremètres dues aux harmoniques a été conçu et fabriqué. Ce développement est le résultat direct des mesures expérimentées sur le circuit d'étalonnage triphasé.

Un projet de recherche a également été achevé, en vue de vérifier le comportement des varmètres en conditions non sinusoïdales.

Transformateur de courant à circuit électronique

Le groupe poursuit les travaux pour augmenter les capacités du transformateur de courant à circuit électronique pour qu'il permette de mesurer toute composante c.c. du courant primaire.

Étalon de pertes dues à la charge, à comparateur de courant

Les composants principaux de l'étalon de pertes ont été mis au point et l'étalon a été utilisé, pour l'étalonnage sur place de circuits de mesure des pertes (voir la figure 1), à l'IREQ, chez NEI-Ferranti Packard Transformers et chez ASEA Brown Boveri Electric. Les travaux pour rendre l'étalon plus facile à transporter et à utiliser se poursuivent.

Convertisseur numérique–analogique de multiplication à 25 bits

Le convertisseur numérique–analogique de multiplication (MDAC) à 25 bits a été incorporé au générateur étalon de tension c.c. à comparateur de courant commandé par microprocesseur. Le groupe a développé un logiciel permettant de relier le générateur étalon à un ordinateur par l'intermédiaire d'un bus IEEE-488. Un contrat pour la construction d'un prototype du générateur étalon a été octroyé à Measurements International Limited.

Comparateur de tension alternative efficace/tension contenue

Un nouveau thermocouple différentiel sur circuit intégré a été utilisé, en remplacement du thermocouple multijonction classique, en vue de modifier le comparateur de tension alternative efficace/tension continue. Les résultats d'essais obtenus à la Division de physique du CNRC ont révélé que l'instrument modifié

Figure 1. Étalonnage sur place d'un circuit de mesure des pertes de transformateur.

fonctionnait à des fréquences pouvant aller jusqu'à 300 kHz en maintenant une précision d'environ 100 ppm. Ces résultats seraient les mesures les plus précises que l'on aurait obtenues avec des instruments de transfert de tension continue efficace, aux fréquences les plus élevées.

Les travaux de conception préliminaires en vue d'étendre la plage de fréquences de l'instrument à 1 MHz ont été entrepris. C'est au cours des échanges tenus avec les utilisateurs potentiels de l'instrument qu'est apparu le besoin d'une exploitation à de telles fréquences.

Mesures des champs électromagnétiques aux fréquences industrielles

Le groupe a mis sur pied un projet de recherche visant à générer une expertise dans la mesure des champs électromagnétiques de faible niveau aux fréquences industrielles. Ce projet se veut une réponse directe aux demandes d'organismes externes.

Un appareil de mesure de champs électromagnétiques a été conçu et construit. Ce nouvel appareil s'articule sur trois bobines détectrices montées à angles droits les unes par rapport aux autres. Une mesure suivant trois axes est prise, qui est indépendante de l'orientation des bobines détectrices.

Les programmes de mesure ont été amorcés pour deux clients dont les locaux se trouvent près d'emprises de ligne de transport d'énergie. Une proposition de contrat de recherche pour la caractérisation des environnements de champ magnétique dans la région d'Ottawa a été soumise à l'Association canadienne de l'électricité.

Mesures de choc à haute tension

Le Conseil national de recherches Canada a poursuivi son effort soutenu en vue de contribuer à ce secteur en assurant la direction de deux groupes de travail de la Conférence internationale des Grands Réseaux Électriques à Haute Tension (CIGRE). Le groupe de travail de la CIGRE sur les paramètres de réponse en est à préparer son rapport officiel, et le groupe de travail sur les mesures comparatives poursuit son travail. On a étudié toute une gamme de circuits étalons, et des travaux ont été entrepris dans plusieurs autres laboratoires. Le CNRC prendra part, sous les auspices de l'Agence canadienne de développement international, à un programme visant à relever la norme des mesures de choc à haute tension dans les pays du Tiers-Monde.

Le projet de coopération de IREQ, d'Ontario Hydro et du CNRC se poursuit. Les résultats les plus récents constitueront l'essentiel d'une tribune d'une journée à la réunion de l'IEEE — IEEE Power Engineering Society Meeting — qui se tiendra à Long Beach, en Californie, au mois de juillet.

La révision de la publication 60 de la CEI, *Technique des essais à haute tension*, se poursuit avec la participation du CNRC au groupe de travail 7, Révision des publications 60-3 et 60-4 de la CEI, et au groupe de travail 8, Enregistreurs numériques. L'identification d'essais convenables pour démontrer la linéarité des circuits de mesure de choc à haute tension a fait l'objet de travaux considérables en laboratoire. On a révisé le projet de norme de la CEI sur les enregistreurs numériques.

C'est en reconnaissance du rôle de chef de file que tient le CNRC dans le domaine des mesures HT et des normes afférentes que T.R. McComb a été affecté au Secrétariat du comité technique 42 de la Commission électrotechnique internationale.

Le groupe poursuit sa participation aux travaux du comité de l'IEEE sur les techniques numériques en mesures électriques (il s'agit en fait d'un sous-comité du comité chargé de l'étude des techniques et appareils de mesure pour systèmes d'alimentation) et aux travaux du comité de l'IEEE sur la mesure et l'analyse des formes d'onde.

À la demande de l'industrie, le groupe a donné des conseils sur la réduction du brouillage électromagnétique dans divers systèmes prototypes, sur la protection contre la foudre et sur les systèmes d'alimentation à impulsions.

Le CNRC participe à un projet de l'Association canadienne de l'électricité portant sur la mesure des densités de coups de foudre au sol au Canada.

Étalonnages

Le groupe a publié en 1988 trente-cinq rapports d'essai et d'étalonnage.

Isolants électriques

J. Densley, A. Bulinski, S.S. Bamji

Depuis plusieurs années, les travaux du groupe des isolants électriques ont porté surtout sur les isolants pour câbles HT du type polymère utilisés en milieux humides ou secs.

Isolants utilisés en milieu humide

Le groupe a dirigé ses efforts principalement sur les études fondamentales des mécanismes de la formation d'arborescences d'eau, forme de vieillissement des polymères exposés à des contraintes électriques et à des taux d'humidité élevés. De nombreuses défaillances prématurées des câbles HT de distribution sont attribuables à ce type de vieillissement. Certaines études antérieures ont révélé que des paramètres d'essai tels que la tension, la fréquence, la température et la présence de contaminants ioniques dans l'eau influaient les uns sur les autres de manières complexes. Par conséquent, bien que l'on puisse déterminer des conditions d'essai qui accéléreront le processus de vieillissement, celui-ci varie de façon non linéaire suivant quelques-uns de ces paramètres; ainsi, il est demeuré à ce jour impossible de développer un type d'essai qui permette de prédire avec exactitude la durée de vie d'un câble. L'effet des contaminants présents dans les matériaux mêmes et la morphologie des matériaux viennent compliquer davantage cette conjoncture. On a étudié en détail certains de ces effets.

Des organismes externes tels que l'IREQ, la Union Carbide Canada, CIL et la Furukawa Cable Company (Japon) ont participé activement à divers aspects de ces études.

Le rôle de l'oxydation dans la formation d'arborescences d'eau fait l'objet d'une étude dans le cadre d'un projet commun avec l'IREQ. Le groupe a achevé les mesures de la formation et de la croissance des arborescences d'eau dans le polyéthylène fortement oxydé. Contre toute attente, la croissance s'est avérée beaucoup plus lente dans le polymère oxydé. Bien que le polymère oxydé ait présenté une rigidité diélectrique plus faible et un facteur de dispersion plus élevé que l'isolant non oxydé, avant le vieillissement, ces propriétés sont demeurées presque constantes après vieillissement en solution salée pendant plus de 1000 h, à 6 kV/mm.

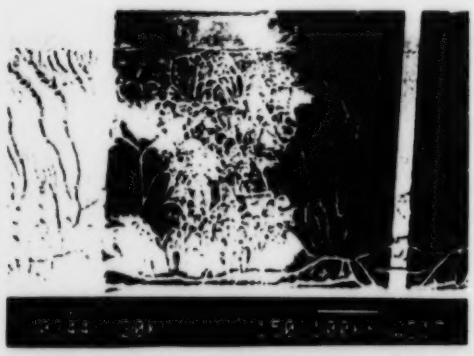
Cependant, en raison de sa rigidité diélectrique moindre et de sa plus grande perte diélectrique, dans les mêmes conditions de vieillissement, le polymère non oxydé s'est avéré d'un rendement inférieur à celui du polymère oxydé. Les résultats ont indiqué que les particules oxydées du polymère, communément appelées particules colloïdales, n'empêchent pas la formation d'arborescences d'eau, à condition qu'elles soient bien liées au polymère sain. Des essais ont été entrepris en vue de vérifier la croissance d'arborescences dans des polyéthylènes à taux d'oxydation moyens, ce qui représente les conditions réelles de vieillissement d'un câble en service depuis plusieurs années.

Les essais de vieillissement accéléré au moyen de câbles miniatures représentent un lien important entre les essais menés sur des spécimens moulés en laboratoire et ceux menés sur des câbles pleines dimensions. Toutefois, il est essentiel d'optimaliser les conditions d'essai de façon à porter au minimum le temps de

vieillissement tout en s'assurant que la dégradation qui survient est semblable à celle qui survient en conditions réelles. Les résultats d'une série d'essais presque achevés, menés avec l'appui de la Union Carbide Canada, ont confirmé les études antérieures qui indiquaient que le vieillissement à température ambiante était plus accusé que lorsque la température était cyclée, à des fréquences de tension de 60 Hz et de 1 kHz. À la lumière des résultats obtenus, les essais de vieillissement sur les câbles miniatures se sont avérés moins coûteux s'ils étaient exécutés à température ambiante. D'autres travaux seront toutefois nécessaires pour permettre de déterminer en quoi les effets de la température diffèrent selon qu'ils agissent sur des câbles miniatures ou sur des câbles pleines dimensions.

Une méthode d'essai originale permettant de contrôler la croissance d'arborescences d'eau dans les polymères a été mise au point conjointement avec le Laboratoire des sciences de la microstructure de la Divison de physique. Cette technique utilise l'imagerie électronique à rétrodiffusion pour détecter la présence de contaminants à l'intérieur des arborescences d'eau. La sensibilité est suffisante pour permettre de mesurer la distribution des contaminants dans l'arborescence. La figure 2 montre des micrographiques types d'images produits par électrons rétrodiffusés et secondaires. Des

(a)



(b)

Figure 2. (a) Imagerie électronique à rétrodiffusion d'arborescences croissant à partir de particules de $CuSO_4$, dans du polyéthylène réticulé chimiquement. (b) Imagerie électronique secondaire de (a). Remarque : aucune arborescence d'eau n'est visible.

études supplémentaires plus détaillées sont prévues afin de déterminer l'incidence de la contrainte, de la fréquence et du temps sur la diffusion des contaminants et pour vérifier la possibilité d'utiliser ces techniques dans la localisation des arborescences dans les matériaux opaques.

On s'est peu attardé, à date, sur les mécanismes réels par lesquels une arborescence d'eau amorce le claquage de l'isolant. On sait que l'arborescence d'eau, au bout d'un certain temps, se transforme en une arborescence électrique qui croît jusqu'à shunter l'isolant et achever ainsi la défaillance. Une étude détaillée du passage de l'arborescence d'eau à l'arborescence électrique a été entreprise, conjointement avec l'IREQ et avec l'appui de l'Association canadienne de l'électricité. Le groupe a développé une technique permettant de détecter la lumière émise par les décharges partielles à l'intérieur d'une arborescence électrique et de couper rapidement le courant HT au spécimen; on pourra ainsi mesurer les changements survenant dans le polymère au moment de la formation de l'arborescence électrique.

Le Laboratoire participe également à un essai à tour de rôle (CIGRE) portant sur la formation d'arborescences d'eau et dont l'objectif est de mettre au point une méthode pour évaluer la résistance aux arborescences d'eau de différents matériaux isolants.

Un ingénieur de la Furukawa Cable Company (Japon) travaille au CNRC pour une période d'un an : il mesure la détérioration due à l'oxydation et à la formation d'arborescences d'eau de câbles vieillis sur le terrain et compare cette dégradation avec celle obtenue en laboratoire.

Isolants utilisés en milieu sec

Le groupe a étudié le mécanisme de formation d'arborescences électriques dans les isolants de câble HT soumis à des tensions c.a., c.c. et c.a. à demi redressées, au moyen d'une technique de photodétection développée par le Laboratoire. Il a été montré que la photodégradation de l'isolant polymérique par les rayons uv peut se produire lorsque le courant appliqué au polymère dépasse la tension de seuil de la formation luminescente. La comparaison de la lumière émise à partir du polymère exposé à une tension c.a. dont les demi-cycles ont une amplitude variable à celle émise avec une tension c.c. superposée sur tension c.a. a révélé que la charge d'espace injectée dans le polymère entraînait la décroissance à zéro, puis l'inversion de la polarité du champ local. C'est ce passage à zéro du champ local, et non pas la valeur de crête à crête ou

l'inversion de polarité de la tension appliquée, qui détermine la luminescence et la dégradation subséquente du polymère.

Une étude recevant l'appui de la CIL a été entreprise en vue d'évaluer les différents additifs qui peuvent retarder la formation d'arborescences dans les isolants HT, au moyen de la méthode de photodétection.

Le premier volet des essais à tour de rôle menés sur la tension de seuil de formation d'arborescences électriques a été achevé pour le compte de la CIGRE. Les données obtenues auprès de laboratoires du monde entier seront analysées et évaluées, et les résultats en seront utilisés pour la conception et l'exécution d'essais de vieillissement à long terme.

Brouillage et compatibilité électromagnétiques

A.S. Podgorski, S. Kashyap, M. Kekez, J. LoVetri, J. Seregelyi

Mesures des impulsions électromagnétiques

Les travaux entrepris sur le développement de circuits de mesure d'impulsions très rapides se poursuivent. Au cours de l'année écoulée, on a réduit à 80 ps le temps de réponse des circuits de mesure coaxiaux. La mise en oeuvre d'un progiciel dans le nouveau circuit de mesure de 80 ps permettra l'étude de phénomènes reliés aux décharges électrostatiques ultra-rapides.

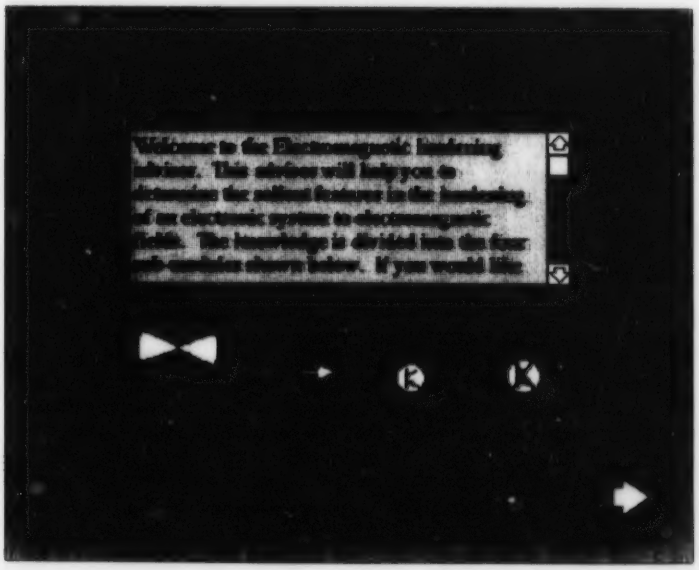


Figure 3. Système expert pour immunisation électromagnétique.

L'automatisation des installations d'étalonnage de champs électromagnétiques a été achevée. L'utilisation des installations d'étalonnage automatisées améliorera d'un ordre de grandeur la précision des mesures d'impulsions.

Les travaux entrepris en collaboration avec une compagnie privée pour le développement de systèmes de mesure à fibres optiques se poursuivent également.

Simulation d'impulsions électromagnétiques

L'objectif général du projet est de développer une installation que peuvent utiliser les entreprises canadiennes pour vérifier la protection électromagnétique tout en mettant l'accent sur la protection contre les transitoires et les impulsions. Un nouveau générateur d'impulsions coaxial Marx de 600 kV et 3 ns a été construit et mis à l'essai. Le groupe poursuit actuellement les travaux portant sur le développement d'isolants magnétiques HT à réponse en nanosecondes et de commutateurs à condensateur de crête.

Afin d'étendre nos connaissances touchant à la production d'impulsions de durée inférieure à une nanoseconde, nous avons mis au point et à l'essai un générateur d'impulsions de 30 kV et 150 ps, ce qui devrait contribuer au développement de générateurs plus rapides.

Interaction électromagnétique

L'objectif de ce projet est de prêter assistance à l'industrie et à d'autres ministères dans le développement d'une base théorique permettant de concevoir des systèmes de protection contre le brouillage électromagnétique.

Le groupe en est à mettre au point des méthodes numériques d'analyse des anomalies de type électromagnétique telles que les impulsions électromagnétiques d'origine nucléaire ou de foudre. Un projet de coopération avec Bell-Northern Research est en cours, qui porte sur l'étude de la protection contre le choc de foudre des circuits électroniques et électriques des grands édifices.

Un système expert simple (voir la figure 3) a été développé récemment aux fins de l'immunisation des équipements électroniques contre divers dangers de type électromagnétique, et il a été utilisé pour la protection des hélicoptères.

Les travaux d'étude numérique et analytique d'anomalies non linéaires, telles que les décharges et la propagation gazeuses en milieux non linéaires, progressent également.

Modélisation et mesure des interactions d'impulsions électromagnétiques

Le groupe travaille au développement d'une capacité étendue en termes de modélisation interactive des impulsions électromagnétiques, avec des structures simples et complexes (comme celles d'un aéronef, par exemple). Des codes machines, dans les domaines de temps et de fréquence, sont acquis, testés et modifiés en fonction des besoins du MDN. De nouveaux codes sont également développés pour combler les lacunes.

Un simulateur d'impulsions électromagnétiques de 1 m et 100 kV est utilisé en vue du développement d'une méthode d'immunisation d'équipements de format terminal d'ordinateur contre les impulsions électromagnétiques. Les travaux accomplis comportent la caractérisation du générateur d'impulsions, des convertisseurs analogique–numérique, des détecteurs de champs électromagnétiques et de la liaison par fibres optiques ainsi que la mesure des champs à l'intérieur et à l'extérieur du simulateur. Des mesures sont également effectuées en vue de confirmer les résultats de modélisation pour des structures simples.

Mémoires récents

Publiés

Arseneau, R., et Filipski, P. Application of a three phase nonsinusoidal calibration system for testing energy and demand meters under simulated field conditions. IEEE Trans. Power Delivery, PWRD-3(3): 874–879; 1988. CNRC 28361. *Résumé dans* IEEE Power Eng. Rev. PER-8(7): 29; 1988. CNRC 28100.

Arseneau, R., et Filipski, P. Optimum metering system for loads with high harmonic distortion. Rapporte pour l'Association canadienne de l'électricité, ACE projet 043-D-610, mai 1988. 43 pages. CNRC 29804.

Bamji, S.S., Bulinski, A.T., et Densley, R.J. Light emission and subsequent tree inception due to polarity reversal of the local field in polymeric insulation. 1988 Annual Report of the Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Ottawa (Ont.). 16–20 octobre 1988. pp. 173–179. CNRC 29700.

Bamji, S.S., Bulinski, A.T., et Densley, R.J. Threshold voltage of luminescence and electrical tree inception in low-density polyethylene. J. Appl. Phys. 63(12): 5841–5845; 1988. CNRC 28733.

Bamji, S., Bulinski, A.T., et Densley, R.J. Degradation of polymeric insulation due to photoemission caused by high electric fields. IEEE Trans. Electr. Insul. 24(1): 91–98; 1989. CNRC 30086.

Bamji, S., Bulinski, A., et Densley, J. The effect of photostabilizers on polymeric insulation used at high voltages. Makromol. Chem., Macromol. Symp. 25: 271–280; 1989. CNRC 30303.

Bulinski, A.T., Bamji, S.S., et Densley, R.J. Factors affecting the transition from a water tree to an electrical tree. Conference Record of the 1988 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Boston (MA). 5–8 juin 1988. pp. 327–330. CNRC 29727.

Bulinski, A.T., Bamji, S.S., et Densley, R.J. Factors affecting oxidative induction time measurements of XLPE high voltage cable insulation. 17th NATAS Conference, Lake Buena Vista (FL). 9–12 octobre 1988. CNRC 29701.

Bulinski, A., Bamji, S., Timbrell, P., et Densley, J. Wavelength and energy dispersive X-ray studies of contaminants in water treed insulation. 1988 Annual Report of the Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Ottawa (Ont.). 16–20 octobre 1988. pp. 78–85. CNRC 29698.

Crine, J.-P., Haridoss, S., Cole, K.C., Bulinski, A.T., Densley, R.J., et Bamji, S.S. Oxidation and thermal resistance of HMW-PE and XLPE H.V. cables. Conference Record of the 1988 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Boston (MA). 5–8 juin 1988. pp. 219–224. CNRC 29728.

Filipski, P.S. Discussion on «Power Components in a System with Sinusoidal and Nonsinusoidal Voltage and/or Currents» by J.D. Van Wyk and M.A. Slonim. IEE Proc. Pt. B, 136(2): 90; 1989. CNRC 30215.

Filipski, P.S., et Arseneau, R. Definition and measurement of apparent power under distorted-waveform conditions. Proceedings of the International Conference on Harmonics in Power Systems ICHPS III, Nashville (TN). 28 septembre – 1er octobre 1988. pp. 127–131. CNRC 29596.

Haridoss, S., Crine, J.-P., Bulinski, A., Densley, J., Bamji, S., et Bernstein, B.S. Oxidation in water-trees grown in field-aged cables. Proceedings of the Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Ottawa (Ont.). 16–20 octobre 1988. CNRC 29699.

Kashyap, S., et Mishra, S.R. Improvement in antenna factor measurements using time-domain gating. Proceedings of the 1988 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Seattle, WA. 2–4 août 1988. pp. 82–86. CNRC 28825.

Kekez, M.M., et Savic, P. Two-dimensional extension of the flame theory of leader development. 9th International Conference on Gas Discharges and Applications, Venise, Italie. 19–23 septembre 1988. pp. 415–420. CNRC 30681.

Kuffel, J., Malewski, R., McComb, T., et van Heeswijk, R.G. On-line digital instrumentation for high-voltage testing. Compte rendu du Congrès canadien en génie électrique et informatique, Vancouver (C.-B.). 3–4 novembre 1988. pp. 34–38. CNRC 30609.

Lau, J.H., Kekez, M.M., Lougheed, G.D., et Gupta, R.P. Submillimeter high brightness pulsed X-ray

source. Appl. Phys. Lett. 52(25): 2111–2113; 1988.

Lougheed, G.D., Kekez, M.M., Lau, J.H.W., et Gupta, R.P. Solenoid gas puff imploding liner X-ray source. J. Appl. Phys. 65(3): 978–992; 1989.

LoVetri, J., et Abu-Hakima, S. Applying expert system techniques to the electromagnetic hardening domain. Proceedings of the Technical Liaison Group on Electromagnetic Hardening Problems, Ottawa (Ont.). 27–29 septembre 1988. CNRC 30050.

LoVetri, J., et Hamid, M. Coulomb wave functions in the theory of the circular paraboloidal waveguide. Can. J. Phys. 66(3): 212–227; 1988.

McComb, T.R. Discussion on "Distortion-free measurement of high impulse voltages" by K. Feser, W. Pfaff, G. Weyreter, and E. Gockenbach. IEEE Trans. Power Delivery, PWRD-3(3): 863–864; 1987. CNRC 30610.

McComb, T.R., Hughes, R.C., Lightfoot, H.A. Schon, K., Schulte, R., McKnight, R., et Zhang, Y.X. International comparison of HV impulse measuring systems. IEEE Trans. Power Delivery, PWRD-4(2): 906–915; 1988. CNRC 29610. *Résumé dans* IEEE Power Eng. Rev. PER-9(4): 49; 1989. CNRC 30682.

McComb, T.R., Kuffel, J., et leRoux, B.C. A comparative evaluation of some practical algorithms used in the equivalent bits tests of waveform recorders. IEEE Trans. Instrum. Meas. IM-38(1): 37–42; 1989. CNRC 30683. *Résumé dans* Digest of the Instrumentation and Measurement Technology Conference, San Diego (CA). April: 216–217; 1988. CNRC 30612.

Miljanic, P.N. Calibrator for alternating voltage, current, and power. IEEE Trans. Instrum. Meas. IM-38(2): 384–389; 1989. CNRC 29958.

Mishra, S.R., et Kashyap, S. Effect of ground plane and chamber walls on antenna input impedance. Proceedings of the 1988 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Seattle (WA). 2–4 août 1988. pp. 395–399. CNRC 30611.

Moore, W.J.M., So., E., Oldham, N.M., Miljanic, P.N., et Bergeest, R. An international comparison of power meter calibrations conducted in 1987. IEEE Trans. Instrum. Meas. IM-38(2): 395–401; 1989. CNRC 29595. *Résumé dans* Digest of the Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM '88 - IEEE), Tsukuba, Japon. 7–10 juin 1988. pp. 341–342. CNRC 30613.

Podgorski, A.S. A case for a unified lightning threat. Proceedings of International Aerospace and Ground Conference on Lightning and Static Electricity, Oklahoma City (OK). 19–22 avril 1988. pp. 118–122. CNRC 28981.

Podgorski, A.S., et Podgorski, E.M. Lightning standards for protection of ground electronic systems. Proceedings of International Aerospace and Ground Conference on Lightning and Static Electricity, Oklahoma City (OK). 19–22 avril 1988. pp. 324–327. CNRC 28982.

So, E. A current-comparator-based load loss standard for in-situ calibration of transformer loss measuring systems. IEEE Trans. Power Delivery, PWRD-3(4): 1363–1368; 1988. CNRC 30684. *Résumé dans* IEEE Power Eng. Rev. PER-8(10): 36–37; 1988. CNRC 28968.

So, E., et Train, D. In-situ calibration of three different types of transformer loss measuring systems using a current-comparator-based load loss standard. IEEE Trans. Power Delivery, PWRD-3(4): 1396–1402; 1988. CNRC 30685. *Résumé dans* IEEE Power Eng. Rev. PER-8(10): 40; 1988. CNRC 28969.

Présentés

Arseneau, R. Comparison of VAR-meters under simulated field conditions. Table ronde, «Reactive Power in Nonsinusoidal Situations, Definitions and Physical Meaning». IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, New York (NY). 29 janvier – 3 février 1989.

Arseneau, R., et Filipski, P.S. Summary of results — optimum metering systems for loads with high harmonic distortion (ACE # 043 D610). Association canadienne de l'électricité, Québec (Qué.). Octobre 1988.

Bamji, S.S., Bulinski, A.T., et Densley, R.J. The effect of inert gas-impregnation on the degradation of polymeric insulation. Corona Research Group (Cage Club), Université de Toronto, Toronto (Ont.). 12–13 mai 1988.

Bulinski, A.T., Bamji, S.S., et Densley, R.J. Transition from a water tree to an electrical tree. The final stage of cable failure. Corona Research Group (Cage Club), Université de Toronto, Toronto (Ont.). 12–13 mai 1988.

Dion, M., et Kashyap, S. Analysis of EMP measurement system performance. NEM 1988, San Francisco (CA). 16–20 mai 1988.

Dion, M., et Kashyap, S. EMP transient signal processing. CRAD Signal Processing Symposium. Centre de recherches pour la défense/Valcartier, Valcartier (Qué.). 15–17 juin 1988.

Filipski, P. The effect of harmonics on the performance of metering instrumentation. Table ronde, «High Voltage Power Measurements», IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, New York (NY). 29 janvier – 3 février 1989.

Filipski, P. Reactive power and apparent power definitions. Table ronde, «Reactive Power in Systems with Nonsinusoidal Waveforms», 1989 Power Engineering Society Winter Meeting, New York (NY). 29 janvier – 3 février 1989.

Kashyap, S. Nuclear electromagnetic pulse (NEMP). Broadband EMI/EMC Seminar, Nepean (Ont.). 29 mars 1989.

Kashyap, S., et Mishra, S. R. Use of modern network analyzers in making simulated EMP

measurements. NEM 1988, San Francisco (CA). 16–20 mai 1988.

Kekez, M.M., et Savic, P. Criteria for breakdown in gases. Corona Research Group (Cage Club), Université de Toronto, Toronto (Ont.). 12–13 mai 1988.

Kekez, M.M., et Savic, P. Fluid dynamics of breakdown phenomena. 8th Canadian Symposium on Fluid Dynamics, Ottawa (Ont.). 6–8 juin 1988. (Invité.)

LoVetri, J. HardSys: Applying expert system techniques to EM hardening. Broadband EMI/EMC Seminar, Nepean (Ont.). 29 mars 1989.

McComb, T.R. International comparison of HV impulse measuring systems. Corona Research Group (Cage Club), Université de Toronto, Toronto (Ont.). 12–13 mai 1988.

McComb, T.R. Current directions of the International Electrotechnical Commission's work on high voltage test techniques. Séminaire, Electrosystems Division, National Bureau of Standards, Washington (DC). 22 juin 1988. (Invité.)

McComb, T.R. Electra paper on measurements of fast transient voltages. CIGRE WG 33.03, Stintino, Sardaigne, Italie. Septembre 1988.

McComb, T.R. Report of the task force on response parameters — Progress in 1987–88. CIGRE WG 33.03, Stintino, Sardaigne, Italie. Septembre 1988.

McComb, T.R. Recent advances in the standardization of high voltage test techniques. Séminaire, Electrical Engineering Department, Université de Waterloo, Waterloo (Ont.). 25 novembre 1988. (Invité.)

McComb, T.R., et Malewski, R. Safety requirements in HV laboratories. CIGRE WG 33.03, Stintino, Sardaigne, Italie. Septembre 1988.

McComb, T.R., Hughes, R. C., Lightfoot, H.A., Schon, K., Schulter, R., McKnight, R., et Zhang, Y.S. International comparison of HV impulse measuring systems. CIGRE WG 33.03, Stintino, Sardaigne, Italie. Septembre 1988.

McComb, T. R., Kuffel, J., et leRoux, B.C. Evaluation of some practical algorithms used in the effective bits test of waveform recorders. CIGRE WG 33.03, Stintino, Sardaigne, Italie. Septembre 1988.

Mishra, S.R., et Kashyap, S. Adaptation of antenna and EM field measurement facilities for EMC measurement and analysis. 11th ESTEC Antenna Workshop on Antenna Measurements, Gothenburg, Suède. 20–22 juin 1988.

Moore, W.J.M. The current comparator and its application in precision measurements. Wuhan High Voltage Research Institute, Wuhan, Hubei Province, République populaire de Chine. 12–14 octobre 1988. (Invité.)

Moore, W.J.M. The current comparator and its application in precision measurements. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei Province, République populaire de Chine. 15–19 octobre 1988. (Invité.)

Moore, W.J.M., et So, E. Active-reactive power measurements. Symposium, Electric Power Research Institute and National Institute of Metrology, Beijing, République populaire de Chine. 6 octobre 1988. (Invité.)

Podgorski, A.S. Lightning threat and the composite electromagnetic protection plan. Broadband EMI/EMC Seminar, Nepean (Ont.). 29 mars 1989.

Podgorski, A.S., Kekez, M.M., LoVetri, J., Dunn, J.G., et Gibson, G.A. The implantation of the composite electromagnetic threat protection program and DOD Std 2169. 3rd TLG-3 Symposium EMP Effects, Ottawa (Ont.). 27–29 septembre 1988.

So, E. NRC, DEE, and PE Section. Research and Development Center for Calibration, Instrumentation and Metrology, Jakarta, Indonésie. 22 juillet 1988.

So, E. The application of the current comparator in instrumentation for high voltage power measurements at very low power factors. Wuhan High Voltage Research Institute, Wuhan, Hubei Province, République populaire de Chine. 12–14 octobre 1988. (Invité.)

So, E. The application of the current comparator in instrumentation for high voltage power measurements at very low power factors. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei Province, République populaire de Chine. 15–19 octobre 1988. (Invité.)

So, E. On-site testing/calibration of high-voltage loss measuring systems. Table ronde, «High Voltage Power Measurements». IEEE Power Engineering Society, Winter Meeting, New York (NY). 29 janvier – 3 février 1989.

Brevets

Arseneau, R., et Zelle, J.J. RMS measuring apparatus for ac/dc voltages. Brevet É.-U. 4,786,859. 22 novembre 1988.

Gupta, R.P., Kekez, M.M., Lau, J.H., et Longheed, G.D. Multiple vacuum arc derived plasma pinch X-ray source. Brevet É.-U. 4,751,723. 14 juin 1988.

Gupta, R.P., Kekez, M.M., Lau, J.H., et Longheed, G.D. Gas discharge derived annular plasma pinch X-ray source. Brevet É.-U. 4,752,946. 21 juin 1988.

So, E. Replica circuit. Brevet É.-U. 4,554,513. 19 novembre 1985. Brevet Can. 1,235,748. 26 avril 1988.

So, E. Loadloss standard for testing and çalibrating high voltage power measuring systems. Brevet É.-U. 4,795,969. 3 janvier 1989.

So, E., et Moore, W.J.M. Digital-to-analog converter. Brevet Can. 1,242,800. 4 octobre 1988.

Laboratoire des systèmes intelligents

Chef — M.M.C. Collins

Objectifs

Mandat

- Développer, par l'entremise de travaux de recherche appliquée et de la collaboration avec l'industrie et les universités canadiennes, la technologie des systèmes intelligents qui permettra d'améliorer la position concurrentielle de l'industrie canadienne dans les nouveaux secteurs de la robotique fondée sur les capteurs et des systèmes à base de connaissances.

Objectifs stratégiques

- Développer les technologies informatiques et liées aux capteurs qui constitueront une base pour la réalisation de systèmes autonomes et faire la démonstration de ces technologies.
- Acquérir et développer des technologies fondées sur l'ordinateur pour la création de systèmes informatiques perfectionnés qui permettront la représentation, l'acquisition et le traitement des connaissances.
- Encourager l'exploitation industrielle des technologies informatiques de pointe en créant, en favorisant et en faisant valoir les occasions d'appliquer ces technologies.

Objectifs opérationnels

- Établir un laboratoire national d'excellence dans le secteur de l'intelligence artificielle appliquée par la réalisation de projets qui offrent des défis techniques et comportent un potentiel commercial.
- Développer et faire la démonstration au plus tard en 1990–91 du prototype du système du Conseiller intelligent, en collaboration avec SystemOID Inc. et l'Université de Leeds du Royaume-Uni.
- Terminer en 1989 l'étude de faisabilité PRECARN sur le système expert de pointe en temps réel pour la commande des processus, en collaboration avec MBP Technologies Inc. et Noranda Ltée.
- Améliorer la viabilité commerciale du système d'exploitation Harmony[1] par l'implantation d'une version à «fils minces» ainsi que par son adaptation aux microprocesseurs de la série Motorola 88000 et par le transfert de la responsabilité de l'exploitation commerciale de Harmony à l'un des preneurs de licence actuels avant la fin de 1989.
- Poursuivre le développement de méthodes et d'algorithmes de mesure tridimensionnels (3D) pour l'interprétation des images 3D. Mener à bien la mise au point d'une version améliorée compacte du capteur BIRIS équipée d'un processeur commercial, en vue d'entreprendre son exploitation commerciale avant la fin de 1989–90.
- Développer, en collaboration avec le Laboratoire de génie biomédical, une plate-forme mobile intelligente pour les applications en soins de santé. Pendant l'année 1989/90, on fera la démonstration de la fonction d'évitement des obstacles locaux, une composante essentielle de la navigation autonome.
- Poursuivre les travaux exploratoires sur les matériaux non linéaires destinés aux systèmes optiques intégrés, au traitement optique et aux capteurs optiques. Assurer avant la fin de 1989/90 la disponibilité du nouveau détecteur du champ électrique en cours de développement avec la collaboration de l'Université d'Ottawa et de la Compagnie Marconi du Canada.
- Définir une relation de travail avec la Division de l'espace et le secteur industriel dans le cadre du programme STEAR.

Description du programme

Trois des sections du Laboratoire des systèmes intelligents sont situées à Ottawa — la Section d'automatique, la Section d'informatique et la Section photonique et capteurs — tandis qu'une quatrième section, la Section de robotique et automatisation se trouve à Winnipeg. Cette section fait partie de l'Institut canadien de technologie industrielle (ICTI). Le Laboratoire effectue des travaux de recherche appliquée qui contribuent à l'exploitation efficace des technologies informatiques de pointe.

Les technologies de pointe en automatisation nécessitent des appareils qui peuvent adapter leur comportement à un environnement variable

[1] Marque déposée réservée à l'usage exclusif de sa Majesté du chef de la Société canadienne des brevets et d'exploitation Ltée.

et à des tâches aux demandes changeantes. Les progrès techniques sont nécessaires dans trois secteurs majeurs, la perception (capteurs), la décision et la commande. Le Laboratoire consacre des projets de recherches importants à chacun de ces secteurs. Ces composantes technologiques seront intégrées à des systèmes opérationnels intelligents grâce aux techniques de l'intelligence artificielle.

La Section photonique et capteurs poursuit ses travaux sur le perfectionnement des capteurs, en particulier sur la vision artificielle 3D et l'optique en ondes guidées. On étudie, en collaboration avec l'industrie et d'autres partenaires, les applications potentielles des méthodes brevetées de vision 3D. On travaille à la conception d'un capteur 3D très grande vitesse, tandis que des lasers inoffensifs pour l'oeil et les composants associés sont en cours de développement. Les travaux portent plus particulièrement sur la représentation et la segmentation des images 3D en vue de produire un système de vision artificielle 3D qui ne se limitera pas à l'acquisition des données d'images et analysera aussi la scène. D'autres recherches sont en cours sur des capteurs optiques en ondes guidées et sur le traitement d'images/signaux optiques; certaines composantes de ces recherches sont entreprises en collaboration avec de nombreux partenaires extérieurs.

Le secteur de la robotique fondée sur les capteurs relève de la Section d'automatique. Les méthodes de mesure 3D sont en cours d'adaptation et de démonstration en commande robotisée, plus particulièrement par le recours à une caméra montée sur le poignet. Le système d'exploitation multiprocesseur en temps réel Harmony est au coeur des travaux sur le contrôleur robotique de pointe.

La Section de recherches en informatique travaille en intelligence artificielle appliquée, surtout sur les systèmes à base de connaissances et les systèmes experts. On compte parmi ses travaux le contrôle de l'état des moteurs, l'apprentissage de la machine et le développement d'un système expert-tuteur. Puisqu'il s'agit de projets de recherche appliquée, la collaboration avec les utilisateurs constitue un aspect important de ces travaux.

À titre de composante de l'ICTI de Winnipeg, la Section de robotique et automatisation collabore avec des partenaires industriels. Des projets sont présentement en cours dans les secteurs de la robotique fondée sur les capteurs, de la production et de l'inspection assistées par ordinateur et des systèmes à base de connaissances. On travaille à l'établissement de liens étroits avec les sections du Laboratoire situées à Ottawa en vue d'étendre la base de compétence actuelle.

Transfert de technologie

- Le système Harmony, dont la supériorité technique a été établie, comporte un bon potentiel concurrentiel sur le marché mondial. L'année dernière, les résultats d'une demande de propositions nous ont permis de choisir une entreprise canadienne pour les travaux de commercialisation et de soutien de Harmony. De plus, on accroît le soutien aux preneurs de licence déjà choisis, afin d'encourager la poursuite des activités de commercialisation par l'industrie et de préparer les futurs travaux de soutien d'Harmony.
- Une diode à effet latéral fonctionnant à 1,5 µm a été conçue et fabriquée à Montréal dans le cadre d'un contrat avec RCA. Le développement expérimental associé d'un laser à fibres optiques exploité à 1,5 µm et produisant les plus forts niveaux de puissance obtenus à date pour ce type de laser, permettra la réalisation d'expériences de triangulation laser sans risque pour l'oeil.
- On applique présentement les récents développements en architecture multiprocesseur compatibles avec Harmony à des applications en commande intégrée. La plus récente version de KALI, un système de programmation robotique de pointe, a été implantée à l'Université McGill au moyen du système d'exploitation Harmony, dans le cadre d'un contrat accordé par la Division. La Laboratoire a pu ainsi démontrer la supériorité de Harmony dans ce type d'application, tout en produisant un contrôleur robotique amélioré pour les expériences de laboratoire.
- Le robot mobile pour le projet des soins de santé, réalisé en collaboration avec le Laboratoire de génie biomédical, utilise les technologies de base de ce secteur. Les développements technologiques sont étudiés en collaboration avec Cyberworks Inc., Everest and Jennings Canadian Ltd. et Fortress Scientific. On définit présentement avec plus d'exactitude les exigences fonctionnelles du robot mobile avec les institutions clientes potentielles.

Programmes conjoints

- Le projet du Conseiller intelligent se poursuit en collaboration avec SystemOID Inc., une entreprise canadienne, et l'Université de Leeds au Royaume-Uni. Ce système donnera à l'utilisateur des conseils spécifiquement adaptés à ses besoins immédiats.

- Le prototype du Conseiller de diagnostics et de dépannage des défaillances d'accélération du moteur à réaction J85 a fait l'objet d'une démonstration. Il s'agit d'un projet en collaboration avec le Laboratoire des moteurs de la Division de génie mécanique, avec le soutien du ministère de la Défense nationale.
- Le Laboratoire participe, avec MPB Technologies Inc. et Noranda Research, au projet PRECARN qui vise l'application de systèmes experts en temps réel à la commande des processus. La première démonstration sera la commande d'une cellule de flottation cuivre–zinc. Les avantages potentiels pour Noranda sont de l'ordre de millions de dollars par année pour chacune de ses usines de traitement.
- Une traversée à fibres optiques haute pression a été produite en collaboration avec l'Université du Québec à Hull.
- Les travaux exploratoires sur les matériaux non linéaires destinés aux systèmes optiques intégrés, aux capteurs optiques et au traitement optique ont commencé à susciter l'intérêt du secteur commercial. Des projets de coopération ont été entrepris avec la Compagnie Marconi du Canada et l'Université d'Ottawa sur le détecteur du champ électrique, et avec Marconi sur un nouveau dispositif optique en ondes guidées qui semble prometteur. Un laser bleu est en cours de développement en collaboration avec MacDonald Dettwiler and Associates Ltd. et l'Université Simon Fraser.
- Les projets de coopération avec les partenaires extérieurs ont permis d'améliorer les possibilités du scanner monté sur poignet ainsi que d'établir son potentiel d'application. La mise au point du scanner bi-axe entreprise conjointement avec l'Université McGill est presque terminée. On a utilisé, en collaboration avec Spar Aérospatiale Limitée, les données du scanner pour déterminer la pose d'un accessoire de connexion standard pour satellite.

Section d'automatique

Chef — N. Burtnyk

Introduction

De nos jours, la plupart des applications de la robotique portent sur des opérations selon lesquelles la machine accomplit une tâche essentiellement régulière et répétitive dans un environnement hautement structuré. La structuration d'une tâche peut coûter très cher, ce qui a pour effet de limiter grandement la gamme des applications qui soient rentables. Les générations futures de robots seront des systèmes autonomes intelligents qui, grâce à la perception sensorielle, accompliront les opérations nécessaires de raisonnement et de planification pour adapter leurs actions, selon les besoins, dans l'exécution de leur tâche. Le perfectionnement des robots permettra d'agrandir considérablement le champ d'application de ceux-ci et de toucher de nouveaux secteurs qui n'ont plus rien à voir avec l'usine, en particulier les milieux hostiles et potentiellement dangereux comme l'espace, les fonds marins, les mines et les forêts, là où la compréhension de l'environnement et l'art de manoeuvrer dans les situations imprévues sont de la plus haute importance. Les activités de recherches de la Section d'automatique sont axées sur notre objectif à long terme, à savoir le développement des systèmes autonomes de pointe.

La technologie de la robotique intelligente pose de sérieux problèmes en ce qui à trait à la commande à capteurs d'un système complexe d'exploitation en temps réel. Dans la recherche, l'accent est mis sur la façon d'exprimer cette commande sous forme de systèmes de calculs viables. À l'heure actuelle, on ne tente pas directement de développer ni d'améliorer le mécanisme même du robot. Les efforts portent plutôt sur l'amélioration des fonctions des robots industriels par l'adjonction de la fonction sensorielle et de la commande des systèmes intelligents. La technologie permettant d'y parvenir représente un marché potentiel important pour l'industrie canadienne, sous forme d'éléments «à valeur ajoutée» qui ouvrent de nouveaux domaines d'application aux systèmes existants. L'amélioration des fonctions des robots nécessitent de grands progrès technologiques dans plusieurs domaines. Les travaux de la Section d'automatique traitent du développement des technologies dans le cadre de trois projets : les architectures de multiprocesseurs pour la commande en temps réel, la robotique à capteurs et le robot mobile pour les applications en soins de santé.

Ce dernier projet a été mené en collaboration avec le Laboratoire de génie biomédical. La Section d'automatique s'est penchée surtout sur la technologie générique des véhicules autonomes. Quant à la Section de génie médical, dont les travaux sont décrits dans une autre section du présent *Bulletin*, elle s'est concentrée surtout sur le développement des applications en soins de santé.

Architecture de multiprocesseurs pour la commande en temps réel

W.M. Gentleman, S.A MacKay, D.A. Stewart, M. Wein, R. Parr

Le système d'exploitation en temps réel Harmony

Comme par le passé, les travaux sur les architectures de multiprocesseurs sont axés sur la poursuite du développement de Harmony, système d'exploitation multiprocesseur multitâche en temps réel. Les deux objectifs du projet sont le développement de la technologie du logiciel pour l'élaboration de systèmes intégrés et, plus particulièrement, le développement du système d'exploitation Harmony.

La technologie de Harmony et, notamment, le système d'exploitation Harmony, sont en cours de développement dans nos laboratoires depuis 1982 et continuent d'être améliorés et enrichis. Hors du CNRC, le système d'exploitation est disponible sous forme d'essai pilote presque depuis la période initiale et on peut se le procurer sur le marché depuis plusieurs années par l'intermédiaire de quatre distributeurs autorisés principaux. Il a été utilisé dans le cadre de plusieurs projets à l'Université de Waterloo, à l'Université Carleton, au Collège militaire royal et à l'Université Queen's. D'autres universités en ont également fait l'acquisition. Divers utilisateurs industriels se sont procuré le Harmony pour une éventuelle utilisation «maison» ou dans de futurs produits. Des produits incorporant le système Harmony ont d'ailleurs commencé à paraître sur le marché. Le groupe des utilisateurs nous est d'un précieux secours dans le développement de Harmony en nous signalant des fonctions additionnelles nécessaires, des enrichissements, des améliorations à apporter ainsi que des anomalies du système existant.

Version 3.0

L'événement le plus marquant au cours de l'année dernière a été l'achèvement de la version

3.0. Les caractéristiques suivantes ont été ajoutées :

- Harmony peut accepter les processeurs suivants : DVME-134 de DY-4 et V68/32 de Io Inc., ordinateurs monocartes, tous deux pilotés par le processeur MC68020 et le processeur virgule flottante MC68881 ainsi que le 520 ST ou 1040 ST (processeur MC68000) de Atari, machine d'évaluation. Harmony est également compatible avec le OB68K1A (processeur MC68000) de Omnibyte, ordinateur monocarte.
- Les développements sur Macintosh utilisant le compilateur Consulair Mac C sont maintenant acceptés pour tous les systèmes cibles précités.
- Les développements sur le système d'exploitation Macintosh A/UX Unix sont maintenant acceptés par les systèmes cibles de DY-4 et Io Inc.
- Un système d'évaluation cible prêt à l'emploi utilisant le 520 ST de Atari est maintenant accepté. La configuration minimale évaluation/développement consiste en un Plus de Macintosh et un 520 ST de Atari. Cette combinaison est très utile à cette fin puisque ce sont deux ordinateurs relativement peu coûteux.
- Les améliorations sur Kernel permettent de prendre en charge un adressage de 32 bits. Par conséquent, Harmony peut maintenant prendre en charge jusqu'à 1023 processeurs comportant chacun jusqu'à 4096 tâches.
- La longueur des messages n'est plus limitée à 64 k-o.
- Un serveur est fourni pour accepter UW, émulateur de terminal multifenêtre tournant sur Macintosh.
- Des améliorations ont été apportées aux serveurs de communication série pour permettre la prise en charge de lignes à débit plus rapide avec commande de débit complète. On a également amélioré la caractéristique «en continu» et deux concepts ont été ajoutés : les groupes d'appareils et l'affectation d'un nom générique aux appareils.
- Le gestionnaire de tâches local a été amélioré.
- Il existe un nouveau serveur TCP/IP complet.
- Plusieurs améliorations ont été apportées au module de correction des erreurs.
- On a amélioré la performance de même que les outils de mesure de celle-ci (par exemple, le programme utilitaire de synchronisation).
- On a achevé une restructuration majeure de l'arbre de source (système, exemples et outils), d'où une nette amélioration quant à la clarté et à la facilité d'adaptation.

Développement du système de gestion de la source

La différence la plus marquée entre l'ingénierie du logiciel de Harmony et l'ingénierie du logiciel sous sa forme plus classique réside dans la nécessité d'une prise en charge des situations courantes dans la construction et le développement des systèmes intégrés, d'où notamment les besoins suivants : une adaptation facile à l'ordinateur central de développement ainsi qu'à l'appareil cible, le maintien et l'élaboration simultanés de nombreuses versions de chaque programme, l'intégration des améliorations des ordinateurs centraux de développement à couplage lâche et l'intégration des perfectionnements des réalisateurs, lesquels peuvent appartenir à différents organismes.

Deux aspects de la méthode de gestion de la source Harmony sont des éléments clés pour ce qui est de résoudre ces questions. Le premier est que le code source est considéré comme une base de données d'où des éléments d'information sont sélectionnés pour former une instanciation particulière d'un programme. Cette base de données a une structure arborescente et les sélecteurs correspondants à différentes instanciations ont la même structure. Le deuxième aspect est que le développement est réalisé avec des fichiers dans des arbres clairsemés parallèles à l'arbre de la base de données qui peuvent être superposés à l'arbre de la base de données pour donner au réalisateur l'image d'un arbre composé. Toutefois, les relations définies par les différents arbres ne sont perdues qu'une fois la fusion effectivement réalisée. La structure en couches est montrée à la figure 1.

La pratique de cette méthode a mené à la révision de la structure de l'arbre de la base de données en vue de réduire les redondances, d'identifier un modèle d'arbre pour faciliter l'utilisation des exemples du programme d'application et de définir les outils qui automatiseraient certaines opérations de gestion. La pratique de cette méthode nous a également permis de comprendre comment l'utilisation d'un plus grand nombre de couches pourrait aplanir certaines situations délicates. On est maintenant prêt à publier les principes de ces travaux et des outils de soutien peuvent être produits pour l'expérimentation.

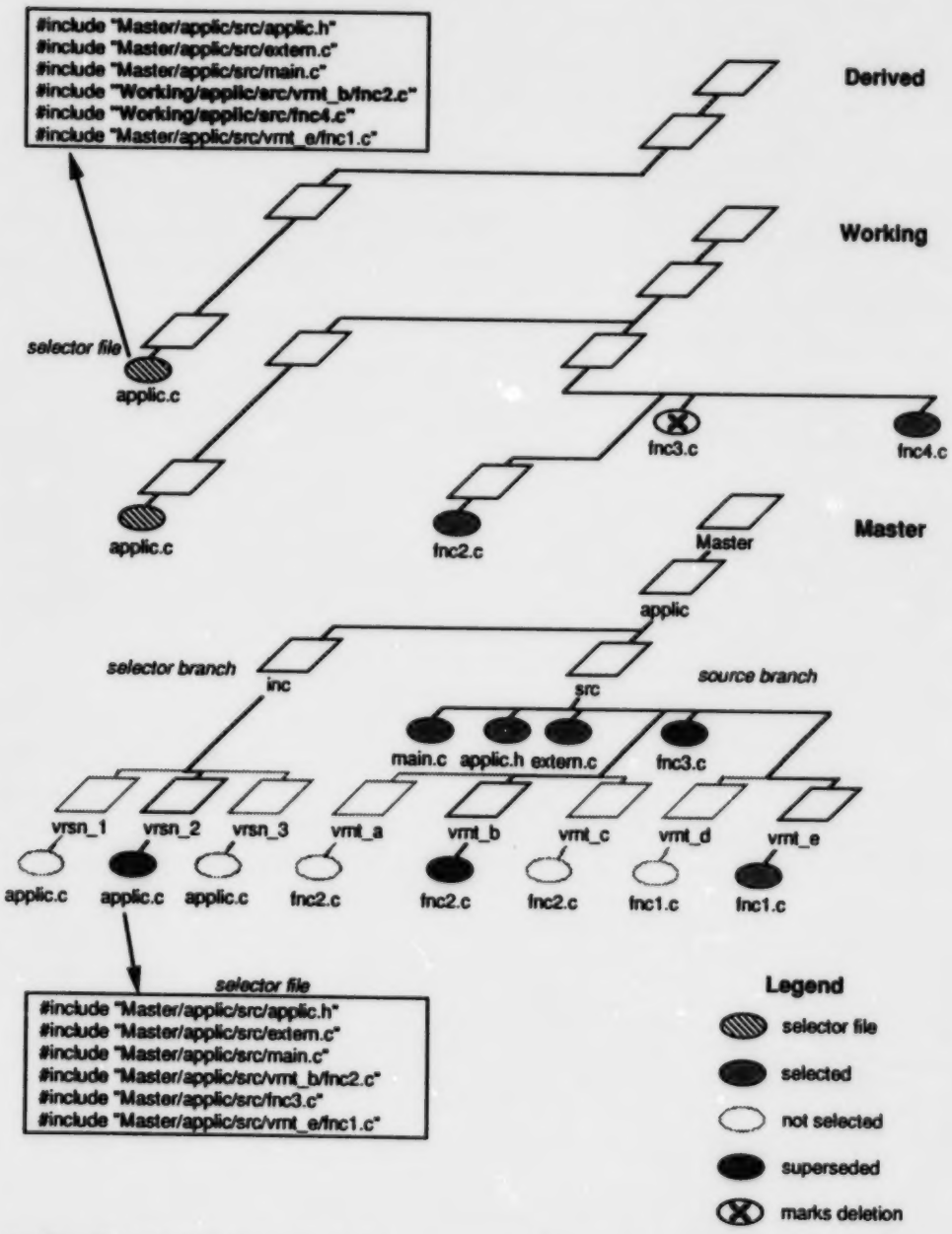


Figure 1. Structure en couches utilisée pour la gestion de la source Harmony.

Améliorations de l'environnement de développement

Les membres du personnel ayant acquis de l'expérience dans le développement du réseau de postes de travail Apple Macintosh, l'accroissement de la productivité s'est révélé satisfaisant et l'environnement demeure acceptable. On poursuit la recherche en vue de trouver de meilleurs outils que ceux qui sont utilisés actuellement, ce qui permettrait de régler les problèmes en suspens, et des outils pour automatiser les parties de l'activité non encore gérées par ordinateur.

Multifinder, HFS Navigator et MacTree (figure 2) sont des exemples d'outils commerciaux qui ont eu des répercussions considérables sur ces travaux. Les outils développés sur place, tels que «bound» (qui évalue la taille minimale

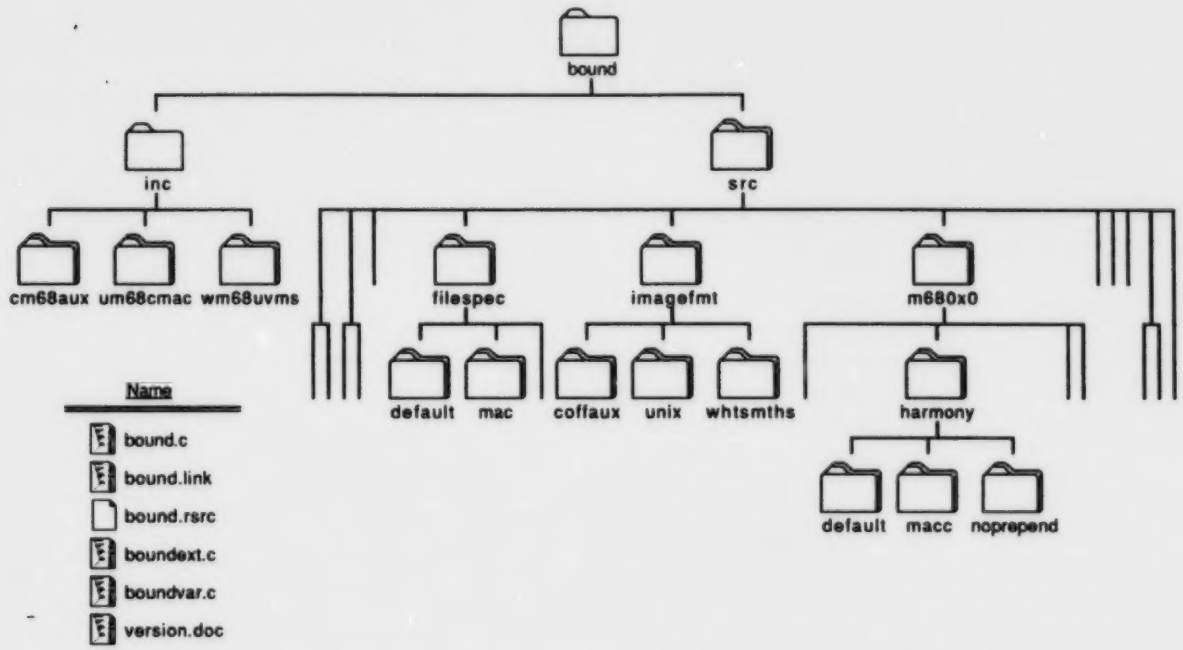


Figure 2. Structure arborescente du code source Harmony présentée par MacTree.

d'une pile pour l'empilage), «examine» (désassembleur) et «fixaddr» (qui produit une image exécutable), demanderont encore beaucoup de travail, spécialement en ce qui a trait aux interfaces de l'utilisateur, pour être jugés satisfaisants dans cet environnement. L'émulateur périphérique évolue toujours. Un téléchargement plus rapide sous diverses formes, y compris XMODEM et des transferts en parallèle ainsi que les transferts ayant pour origine ou destination des disques locaux, ont quelque peu atténué une source de souci constant. On a identifié un nouvel outil à mettre au point : il s'agit d'une interface entre un appareil cible et un ordinateur central de développement à couplage étroit.

Publication et documentation

La documentation d'un système de logiciel de production est une tâche beaucoup plus ardue qu'une présentation traditionnelle des résultats. On répond au besoin de documentation et de publicité par différents moyens tels que la publication traditionnelle dans des revues universitaires ainsi que les conférences universitaires Il existe un rapport technique révisé décrivant la version 3.0 (DGE/ERA-377) ainsi qu'un communiqué détaillé (fourni en direct avec une version) qui décrit les changements apportés à la nouvelle version. Une série de notices d'application (également fournies en direct et sous forme de condensé, DGE/ERA-378) traitent en profondeur des incidences d'ordre philosophique ou du raisonnement complexe sous-jacent. Des présentations et démonstrations interactives ont eu lieu et des cours ont été donnés. Des expériences ont été réalisées récemment avec Hypercard, à l'aide d'Hypertext, afin de permettre au lecteur de faire des digressions à partir d'une description simple d'un sujet aussi sérieux et complexe qu'un système d'exploitation.

Robotique à capteurs

Commande des systèmes intelligents

S. Elgazzar

Le contrôleur fondé sur Harmony pour le robot PUMA est maintenant terminé. Cette réalisation offre un environnement de commande multiprocesseur extensible et souple qui permet déjà la commande de bras multiples et l'intégration d'une vaste gamme de fonctions de commande sensorielles.

Une étude préliminaire a débuté sur la coordination du mouvement des deux bras. On a terminé la modification du matériel d'un deuxième bras PUMA pour interfacer ses servocommandes d'articulations au contrôleur du multiprocesseur. On modifie en ce moment le logiciel de commande pour permettre le fonctionnement en mode «deux bras».

À ce jour, le mode de commande manuel a été modifié pour prendre en charge la

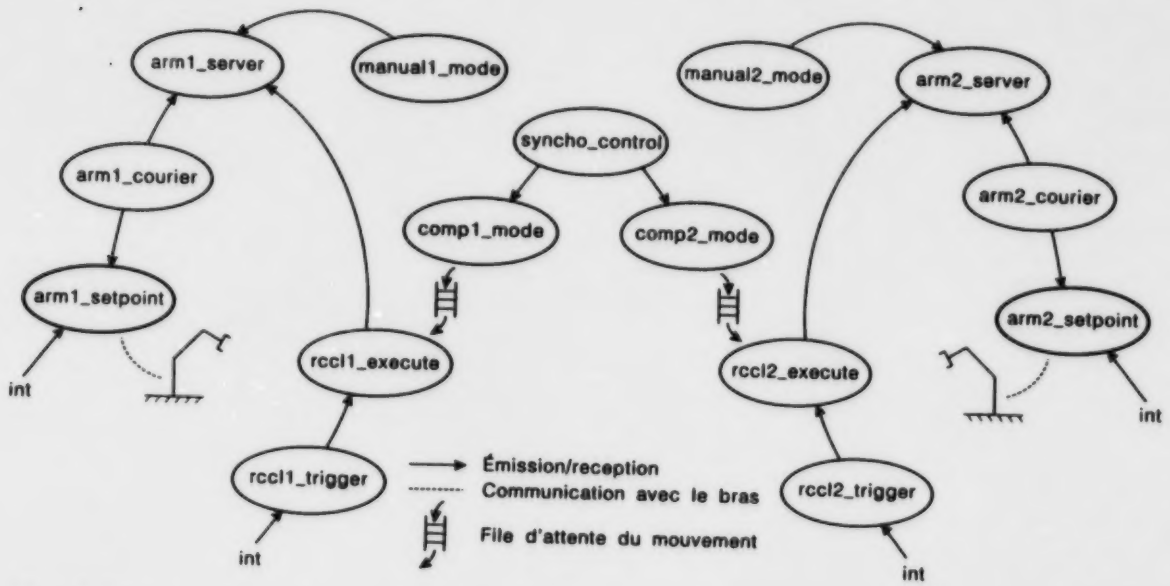


Figure 3. Structure des tâches Harmony pour la commande synchronisée.

commande des deux bras. Les changements ont été apportés pour que le mode de commande du programme puisse accepter la synchronisation des tâches entre les deux bras. Pour la commande synchronisée, les deux bras sont commandés séparément mais les mouvements de chacun sont synchronisés de manière à ce que les deux bras travaillent ensemble dans l'accomplissement d'une tâche. La structure des tâches pour cet environnement de commande est montrée à la figure 3. Pour que le mouvement soit coordonné, les deux bras peuvent devoir agir réciproquement sur un objet commun, ce qui rend nécessaire une commande constante de leurs positions relatives pendant le déplacement de l'objet le long du trajet voulu. Des changements sont en cours pour permettre au contrôleur d'accepter la coordination des tâches et l'intégration d'un poignet capteur de force.

Dans le système existant, la structure de commande de haut niveau est une adaptation du logiciel «Robot Control C Library» (RCCL) qui a été conçu à l'Université de Purdue pour un environnement monoprocesseur, monobras. Une nouvelle version de ce logiciel, KALI, conçue à l'Université McGill pour la commande de bras multiples, est repensée en ce moment pour permettre de tirer parti de l'environnement multiprocesseur. Le développement de ce logiciel, entrepris en collaboration avec l'Université McGill, fournira un banc d'essai pour l'exploration et la démonstration de concepts liés au fonctionnement autonome du télémanipulateur pour manipulations fines (SPDM), sous-système destiné au Système d'entretien mobile du Programme canadien de la station spatiale.

[1] Travailleur invité.

Vision robotisée

Scanner de profil de distance monté sur le poignet

G. Bechthold, S. Amid,[1] N. Burtnyk

Une version améliorée de la caméra compacte montée sur le poignet a été développée au cours de l'année dernière. La principale amélioration apportée est l'adjonction d'un système de balayage sur l'axe des *Y* pour faire dévier, au moyen d'un programme, le faisceau plat balayé sur l'axe des *X* en vue d'obtenir une série de profils de distance parallèles sélectionnés, à partir d'une seule position de la caméra. Le miroir de balayage sur l'axe des *Y* est entraîné par un micromoteur pas à pas qui offre un champ visuel de 30° dans un nombre de pas pouvant aller jusqu'à 256. Ce miroir est amené à la position désirée pendant le retour de balayage du faisceau sur l'axe des *X* et maintient ainsi un taux constant d'acquisition de profil de 12 balayages par seconde et ce, même lorsque les grandeurs de pas varient. Une autre amélioration importante est l'adjonction d'un modulateur dans le faisceau de sortie du laser pour compenser dynamiquement la faiblesse du signal causée par de longues distances à des cibles ou une faible réflectance de la surface.

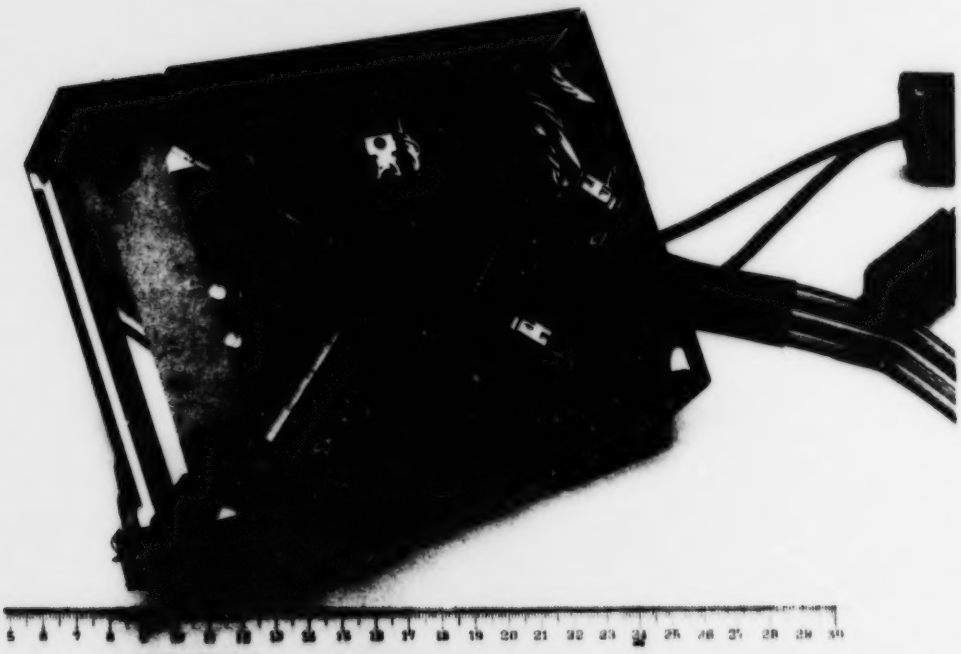


Figure 4. Caméra de distance compacte à deux axes de balayage.

Les systèmes de balayage sur les axes des *X* et des *Y* ont tous deux été intégrés en un seul nouveau système pour que l'on puisse maintenir une surveillance maximale sur les tolérances de fabrication et d'alignement. La géométrie optique du cadre *X* initial a été modifiée pour permettre de tenir compte de l'augmentation de la longueur du trajet imputable au système de déviation sur l'axe des *Y*. Le nouveau dispositif, montré à la figure 4 est un peu moins compact que le cadre *X* initial.

Les circuits électroniques pour le scanner ont été normalisés sur un VMEbus et des cartes de circuit imprimés ont été réalisées pour améliorer la fiabilité du scanner. Des tables de conversion de coordonnées polaires à cartésiennes, tirées de l'étalonnage du balayage sur l'axe des *X*, demeurent dans les circuits électroniques. La modification des coordonnées selon la position suivant l'axe des *Y* relèvera du programme utilisateur.

Le développement de ce nouveau scanner à deux axes, maintenant au stade d'essai définitif, a été effectué en collaboration avec le Laboratoire de vision par ordinateur et de robotique de l'Université McGill. Deux prototypes identiques sont en voie de production, dont l'un pour le CNRC et l'autre pour l'Université McGill.

[1] Travailleur invité.

Les progrès ont été moins rapides qu'on ne l'avait prévu en raison de problèmes concernant un certain nombre de composants. Toutefois, à ce stade-ci, Servo-Robot Inc. s'est montrée vivement intéressée à la commercialisation du nouveau modèle. On discute actuellement des modalités qui permettraient à Servo-Robot d'augmenter la portée de son brevet existant pour inclure ce modèle.

Étalonnage des scanners de profil de distance

C. Archibald, C. Merritt, S. Amid[1]

Pour les besoins de l'interprétation des données, les indications de distance–azimut fournies par le scanner de profil doivent être converties à un espace euclidien à deux dimensions. L'étalonnage est effectué à l'aide de tables stockées dans le matériel du scanner. L'étalonnage permet également de corriger diverses distorsions non linéaires attribuables à la géométrie du scanner.

La procédure utilisée pour créer les tables d'étalonnage a été améliorée. Une nouvelle technique qui utilise l'interpolation linéaire pour produire ces tables a permis d'améliorer la précision des mesures : elle est maintenant d'environ 0,1 mm à de courtes distances d'observation (10 à 20 cm) et à environ 3 mm à la

plus longue distance d'observation (100 cm). Au cours de l'amélioration de la procédure d'étalonnage, on a également modifié la configuration du trajet optique pour obtenir un meilleur compromis entre la profondeur de vision, la résolution et l'angle du faisceau.

On a également apporté d'autres modifications à la méthode d'étalonnage pour tenir compte des positions inclinées du montage du scanner, ce qui est nécessaire pour la configuration à deux têtes.

Le scanner de profil à deux têtes a été étalonné et assemblé sur le poignet du robot. Les scanners sont fixés à angles droits l'un par rapport à l'autre et inclinés dans la direction des lignes de balayage, de sorte que les lignes s'entrecroisent près du milieu des lignes de balayage, à la distance de travail type (figure 5). Vu la correspondance entre les données de chacune des lignes de balayage aux alentours du point de croisement, on peut extraire directement de ces données des informations sur la surface. Cette configuration permettra l'interprétation des caractéristiques de la surface pour la reconnaissance des objets.

Figure 5. Collecte des données de surface au moyen de la configuration croisée du scanner de profil.

On a instauré un programme que l'on utilisera quelquefois pour s'assurer que les tables d'étalonnage sont encore valides pour un montage particulier du scanner.

Applications du scanner de profil de distance

C. Archibald, C. Merritt

Une étude en collaboration avec Spar Aérospatiale Ltée en vue d'évaluer si un scanner de profil peut tenir lieu de soutien de vision artificielle pour le télémanipulateur Canadarm a été menée à terme. Cette étude visait à déterminer si la position et l'orientation d'une pince standard de préhension de satellite était compatible avec ce dispositif pour assurer l'accostage et le désaccouplement automatiques d'un satellite.

Une maquette a été réalisée en laboratoire, à cette fin. Le scanner de profil de distance a été monté sur le poignet du robot PUMA 560. Pour chaque expérience de détermination de la position-orientation, on a collecté les données pour un petit nombre de profils de distance parallèles passant au-dessus d'un modèle de la pince. Les données de profils ont été traitées pour la reconnaissance des composants de base de la pince. Les composants identifiés ont ensuite servi à déterminer la position-orientation de la pince. Les algorithmes se sont avérés exacts dans plusieurs expériences sous diverses conditions, dont l'utilisation d'un nombre varié de profils de distance, la collecte de données à partir de différents angles de vision et de diverses distances d'observation.

Le champ des travaux a été agrandi pour englober le problème plus général de la détermination de la position-orientation d'un objet connu à partir de données de distance partielles. Ceci suppose la modélisation des objets, l'extraction de caractéristiques à partir des données de distance et l'association des caractéristiques au modèle. L'algorithme correspondant est fondé sur une hypothèse heuristique et une technique de recherche d'essai.

La poursuite en temps réel d'un objet en mouvement avec deux degrés de liberté à l'aide du scanner de profil de distance monté sur le poignet a fait l'objet d'un rapport l'an dernier dans le *Bulletin*. La poursuite est maintenant effectuée avec cinq degrés de liberté au moyen de la configuration à deux têtes dans

un environnement de multiprocesseur Harmony. Cette étude vise à démontrer la poursuite en temps réel et la préhension d'objets en mouvement.

Planification des tâches en robotique

Programmation au niveau de la tâche

K.B. Evans

Si un robot doit effectuer une tâche dans un environnement qui n'est pas bien structuré, la programmation de cette tâche ne peut se faire en fonction de mouvements spécifiques du bras. Elle doit se faire plutôt en fonction des opérations ou des buts à atteindre, lesquels sont utilisés par le système pour former et exécuter de façon autonome son propre plan d'actions détaillées.

Le développement se poursuit relativement à une installation de traitement graphique pour la création de la spécification d'une tâche d'assemblage dans un environnement partiellement non structuré. Cette installation est basée sur le concept des états clés qui détermine la progression voulue tout au long d'une tâche par les méthodes «pointer et cliquer» et «montrer par un exemple» qu'un non programmeur connaît intuitivement. Chaque état clé successif doit être réalisé par l'appel d'actions ou de compétences faisant partie de la bibliothèque des capacités qu'un robot peut exécuter.

Au cours de l'année dernière, l'interface d'utilisateur a été améliorée et un programme de modélisation a été rédigé pour prendre en charge un environnement composé d'un nombre quelconque de solides rectangulaires simples et de pinces multiples à deux doigts du type PUMA-560. Des menus déroulants permettent à l'utilisateur de mettre en forme chacun des états clés dans une séquence d'assemblage existante, de sauvegarder ou d'extraire des séquences d'assemblage, de faire une mise en forme géométrique, de changer son point de vue, d'émettre des commandes pour la création d'un nouvel état clé, d'installer diverses entités géométriques implicites, etc. Les commandes disponibles actuellement pour le processus d'assemblage comprennent notamment : sélectionner la pince active, saisir un objet spécifique d'une façon précise, déplacer la pince vers une cible particulière, lâcher une charge (et s'en éloigner légèrement), aller à un point intermédiaire. Les pièces, les objets de l'environnement et les pinces du robot peuvent être copiés et effacés ainsi que déplacés et leur grandeur peut être modifiée, le tout de façon indépendante le long des trois axes.

L'élaboration des commandes de spécification des tâches est sur le point d'atteindre le premier jalon marquant, selon lequel une tâche simple peut faire l'objet d'une spécification complète et l'utilisateur peut avancer ou reculer graphiquement dans les étapes critiques afin d'apporter des changements, au besoin. Ce système est aussi un prototype pour la programmation des tâches dans un environnement structuré sans capteurs ni raisonnement et à planification limitée du trajet. Les questions à examiner dans un proche avenir sont les suivantes : le système hors ligne peut-il être utilisé pour créer des macro-instructions qui fournissent certaines des compétences logiques qui sont nécessaires au système en ligne ou ces compétences devraient-elles toujours être traitées par le programme de planification en ligne? Les caractéristiques qui relèvent de la logique sont notamment de savoir comment réarranger un bloc de façon que la face voulue soit sur le dessus et de supprimer les obstacles d'un endroit avant de tenter d'y placer une charge. Le module de spécification des tâches ne devrait pas avoir à traiter ce genre de détails pour chaque nouvelle tâche d'assemblage.

Planification des tâches

T.H. Shepertycki

Au cours de l'année dernière, on a poursuivi les travaux d'enrichissement et d'amélioration des fonctions du système de développement du matériel/logiciel basé sur les connaissances qui a été assemblé pour permettre les expériences de planification des tâches du robot.

Pour fonctionner dans le monde réel, les robots doivent pouvoir exécuter des instructions à haut niveau en dépit d'actions qui risquent d'échouer ou de ne réussir que partiellement. Ils ne pourront y parvenir que si le système est en mesure de détecter les erreurs par l'intermédiaire de la vision intégrée et de la détection tactile. Pour permettre la détection tactile, on a fait l'acquisition d'une paire de capteurs tactiles LTS-200 de Lord Corporation aux fins de montage sur la pince. Ces capteurs assurent à la fois le toucher (10 × 16 points) et la détection force/moment de torsion sur les trois axes de coordonnées à la surface touchée. Un progiciel a été rédigé pour ces capteurs et a été intégré dans l'environnement de développement.

Parmi les futurs projets figure l'intégration d'une caméra à laser montée sur le poignet pour fournir au système de planification des tâches une information visuelle en retour. Un modèle géométrique 3D du robot a été conçu pour préparer cette intégration. Afin de protéger à

la fois la caméra et le manipulateur contre les dommages physiques, des algorithmes ont été conçus pour le modèle de robot et permettent, dans l'environnement du robot, de déceler les collisions avec le dessus de la table ou le mur arrière, ou les deux. Les commandes de mouvement qui provoqueraient de telles collisions sont détectées avant l'exécution et l'opérateur est avisé de prendre les mesures qui s'imposent.

Pour les humains, les directives de planification des tâches sont plus intuitives lorsqu'elles se rapportent à l'espace cartésien plutôt qu'à l'espace des articulations du robot. Par conséquent, une adaptation du logiciel de cinématique direct et inverse développé pour le contrôleur de robots fondé sur Harmony a été intégrée à l'entité du logiciel qui englobe les connaissance du robot en matière de géométrie, d'espace et de connaissance des procédures.

Afin de faciliter les mouvements du manipulateur axés sur les outils, un progiciel de procédures a été réalisé et incorporé dans le progiciel de l'émulateur VAL-II décrit antérieurement. Ces procédures permettent de déplacer le manipulateur sur n'importe quelle distance, d'une valeur absolue ou incrémentielle, le long des trois axes de coordonnées de l'outil.

Les travaux se poursuivent en vue d'obtenir un programme de planification du trajet brut 3D pour éviter les collisions. Ces travaux sont similaires à ceux qui ont été proposés par d'autres, en ce sens qu'une projection des obstacles dans l'environnement de l'aire de travail est faite dans l'espace des articulations du robot, là où un algorithme recherche les trajets sûrs pour les articulations du manipulateur.

Robot mobile pour les applications en soins de santé

D. Green, R. Liscano, S. Hung

En septembre 1987, un projet conjoint entre la Section de génie médical et la Section d'automatique a été entrepris en vue du développement d'un robot mobile pour les applications en soins de santé. Le projet comporte deux objectifs généraux : identifier et développer une application pratique en soins de santé de la technologie du robot mobile et développer la technologie générique nécessaire à la réalisation d'un véhicule autonome. La Section d'automatique poursuit actuellement ce dernier objectif. La contribution de la Section de génie médical, qui a trait surtout au développement des applications, est traitée dans une autre section du présent *Bulletin*.

Les principales activités de recherches concernant le véhicule porteront sur l'architecture de commande des systèmes et la navigation à capteurs. Les efforts au cours de l'année dernière dans ce domaine visaient surtout à l'élaboration de l'environnement expérimental qui permettra d'ouvrir la voie aux travaux plus particulièrement axés sur la recherche. Cet environnement consiste en un véhicule commercial, un ordinateur de bord et des capteurs de vision (figure 6). En outre, on a mis au point pour le véhicule des fonctions de commande du trajet continu.

Méthodologies de commande

On a choisi un concept de hiérarchie à quatre niveaux pour la formulation de l'architecture de commande afin d'intégrer à la fois la détection, la prise de décision et la commande du véhicule. Le niveau le plus bas est celui de la commande du moteur du véhicule, laquelle est fournie en grande partie par la conception même du véhicule. Le deuxième niveau produit maintenant des trajectoires pour le véhicule entre des points présentés par le niveau 3. Il existe maintenant un programme de planification aux niveaux 1 et 2 pour la surveillance et le maintien de l'état du système. Les données du niveau 2 au niveau 1 sont surtout des instructions pour la commande du moteur exprimées sous forme de profils de vitesse alors que les données du niveau 3 au niveau 2 consistent en des suites de points d'objectifs dans un espace cartésien à deux dimensions.

Des efforts supplémentaires ont été fournis en vue de l'intégration des composants du capteur dans la hiérarchie, compte tenu du besoin urgent d'un système de pare-chocs sans contact pour éviter les collisions. En ce moment, on introduit manuellement les points d'objectifs au niveau 2 à l'aide d'une interface graphique interactive.

Architecture informatique

On a déterminé deux exigences distinctes en informatique : la commande en temps réel du véhicule et la nécessité d'une expérimentation rapide. Pour la commande en temps réel de la plate-forme, une machine Harmony à multiprocesseur a été préparée. Elle est actuellement attachée au véhicule mais elle peut être installée sur le véhicule au besoin. Elle comprend plusieurs ordinateurs monocartes à VMEbus pilotés par des processeurs 68020. Un téléchargeur parallèle à grande vitesse a été mis au point pour accepter des transferts rapides de programmes d'un Mac II à la machine Harmony.

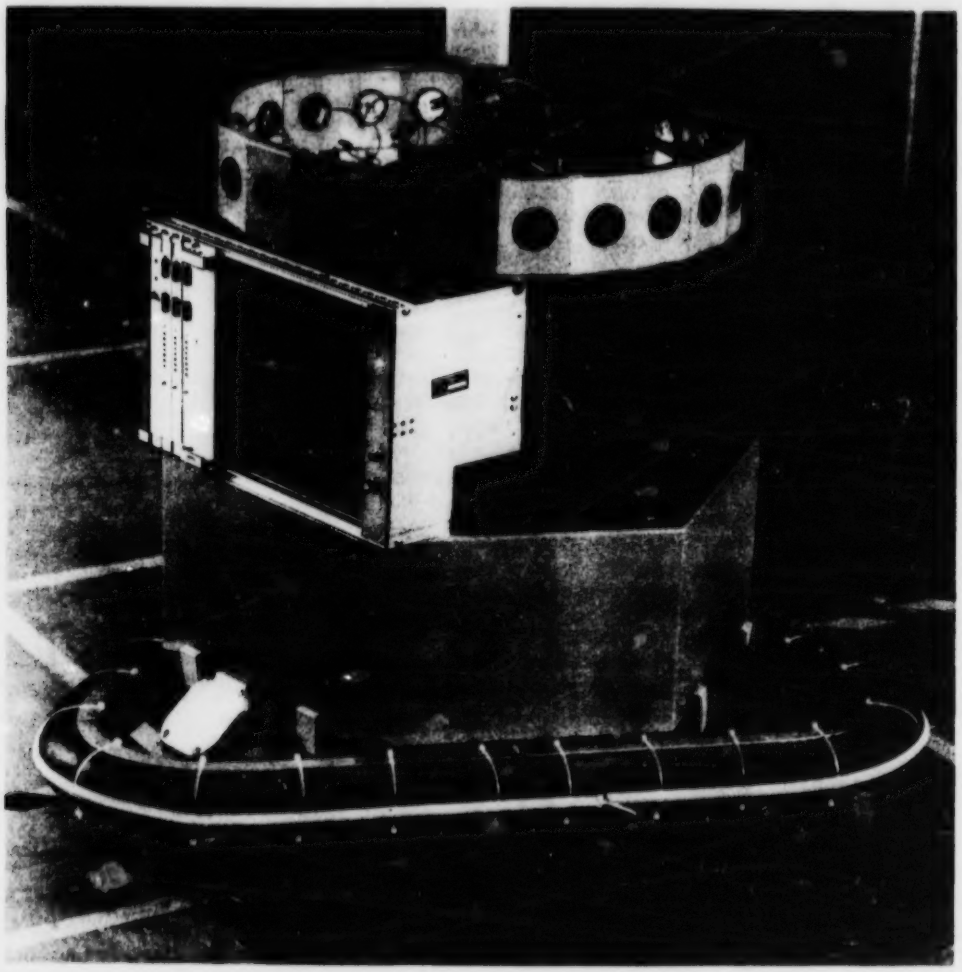


Figure 6. Plate-forme de robot mobile munie d'un ordinateur de bord et d'un anneau de capteurs à ultrasons.

Des expériences distinctes sur la commande du véhicule, la création de trajectoires, les capteurs à ultrasons et le scanner au laser à fente ont toutes été réalisées avec des ordinateurs Mac II par l'intermédiaire d'interfaces série ou parallèle simples. Cette méthode s'est avérée rapide et efficace pour l'évaluation de ces composantes avant leur intégration dans le système Harmony.

Capteurs

Les capteurs de vision sont des pièces essentielles sur un véhicule autonome. Ils sont nécessaires à l'élaboration de cartes qui servent de base à la planification du trajet. Plusieurs capteurs de vision sont développés à l'heure actuelle dans le cadre de ce projet.

Une caméra au laser infrarouge actif à fente est en cours de développement. Le scanner émet un rayon laser vertical en forme de fente qui est balayé mécaniquement dans le sens horizontal. Une caméra vidéo DTC compacte recueille la radiation réfléchie. On a recours à la triangulation pour déterminer la distance jusqu'à l'objet le plus proche. Jusqu'à présent, compte tenu des ressources limitées, l'évaluation du concept a été fondée sur d'expériences simples et une collecte des données partiellement automatisée. Les résultats se sont toutefois avérés assez encourageants pour justifier la conception de matériel pouvant accepter la collecte entièrement automatisée des données de distance et d'azimut.

Une première étude a été entreprise sur l'utilisation de la vision stéréoscopique pour l'élaboration de cartes de distance partielle. Les réseaux d'image originaux de gauche et de droite de 480 × 640 ont été réduits à 96 × 128 au moyen d'un opérateur 5 × 5. L'extraction

des caractéristiques est basée sur une détection du bord vertical ligne par ligne. Une ligne de balayage d'une image est comparée à la ligne de balayage correspondante de l'autre image. Les principaux points critiques d'une ligne de balayage sont extraits et les segments entre les points critiques sont assortis pour permettre le calcul de la distance à chaque point critique. La distance aux points situés entre les principaux points critiques est calculée par interpolation linéaire. Un filtre médian est utilisé pour arrondir les résultats verticalement et supprimer ainsi les pointes. Les résultats initiaux se sont révélés encourageants.

Commande d'entraînement

Pour les besoins de la présente application, la commande d'entraînement du véhicule devrait produire un mouvement commandé continu et précis. La commande d'entraînement, laquelle se trouve au niveau 2 de l'architecture de commande, est conçue comme deux composantes. Au niveau bas, elle entraînera le véhicule par direction servomécanique de la vitesse. Tel qu'il a été conçu par le fabricant, le véhicule peut accepter cette caractéristique. Un serveur a été rédigé et intégré à Harmony; il présente synchroniquement des points de consigne de vitesse à la servocommande du véhicule, à la vitesse d'essai interne du véhicule.

Au niveau élevé, on a développé une méthode de calcul du mouvement d'une trajectoire de telle sorte que le trajet décrit par le robot à partir d'un point de départ en passant par un point intermédiaire ou par un point de transit jusqu'à un point cible est continu et prévisible.

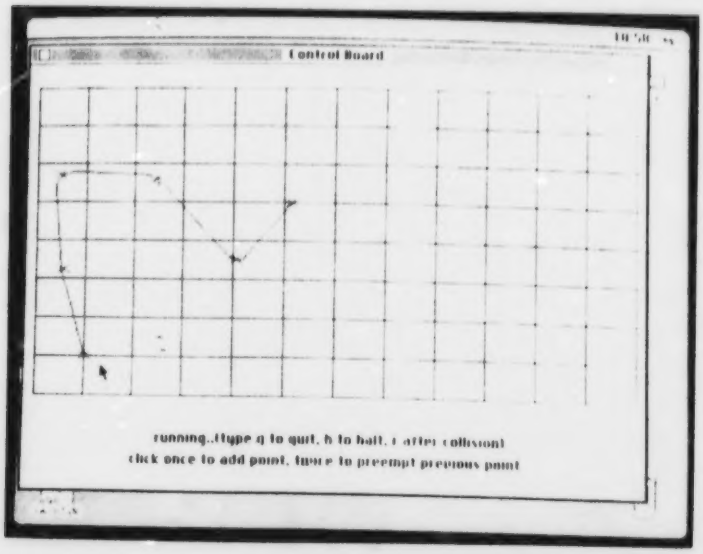


Figure 7. Interface d'utilisateur pour le développement de la commande d'entraînement du véhicule.

Le trajet du robot créé dans un espace à deux dimensions est le trajet le plus près du point intermédiaire que peut réaliser le véhicule, compte tenu des limitations de vitesse et d'accélération de la plate-forme mobile. En outre, on a conçu une interface d'utilisateur qui tourne sur un ordinateur Mac II et communique avec le contrôleur fondé sur Harmony au niveau 2 de la hiérarchie de commande. Cette interface présente à l'écran une grille à deux dimensions de la position du robot et permet à un utilisateur d'entrer des commandes de destination pour le véhicule en cliquant une souris (figure 7).

Pour obtenir une commande appropriée du véhicule, on a dû établir des liaisons série avec l'ordinateur de commande du véhicule et certaines modifications de matériel ont dû être apportées aux circuits électroniques.

Navigation

Au chapitre de la navigation, deux problèmes se sont posés, le premier étant l'ensemble de la planification du trajet et de l'estimation de la position et le deuxième, la façon d'éviter les obstacles. Le premier problème est considéré comme un problème statique et le deuxième, comme un problème en temps réel. Il a été décidé que les efforts porteraient sur l'étude du problème en temps réel, à savoir la façon d'éviter les obstacles.

À titre de précurseur dans le développement des fonctions de navigation, un diplômé en génie électronique de l'Université d'Ottawa entreprend actuellement une première étude des méthodes de représentation des données. Sa façon d'aborder la question est basée sur la méthode de la grille d'occupation mise au point à l'Université Carnegie-Mellon de Pittsburgh, Pennsylvanie. Le développement du logiciel est en cours.

Autres activités

Un certain nombre d'activités ont porté sur la préparation de l'environnement expérimental. Le véhicule K2A de base de Cybermation a été perfectionné. Un pare-chocs tactile a été installé autour du périmètre du véhicule, lequel, à l'heure actuelle, arrête le moteur s'il y a contact. Un châssis VMEbus a été installé sur le véhicule pour accepter le multiprocesseur Harmony et les circuits électroniques du capteur. En outre, un support circulaire fixe a été construit et installé pour recevoir un réseau d'ultrasons à 360° et ses circuits électroniques de commande. Un autre support sera installé sur la tourelle rotative pour servir de socle à des capteurs à imagerie avant tels que le scanner au laser à fente. Finalement, un rail-guide à

poulies a été installé au plafond, au laboratoire, pour fournir au véhicule une attache simple.

En ce moment, on peut faire la démonstration de la commande du véhicule sur un trajet continu. L'interface d'utilisateur du Mac II fournit un banc d'essai pour la simulation des composantes de haut niveau du système. Les points de destination peuvent être appelés pour s'ajouter à la séquence de mouvement en cours ou des points peuvent être introduits pour éliminer le mouvement en cours. Lorsque le serveur à ultrasons sera prêt, on pourra démontrer la manoeuvre sans collision.

On a tenu des réunions avec des clients et collaborateurs éventuels afin d'exposer les objectifs généraux du projet et de rechercher des éléments nouveaux. Une personne a rassemblé un certain nombre d'intervenants oeuvrant actuellement dans le milieu des soins hospitaliers pour les handicapés mentaux ou physiques, ou les deux, et les discussions ont permis de mieux cerner le champ d'application. Une autre personne s'est assuré le concours de deux fabricants canadiens de fauteuils roulants. Ces derniers ont pris en charge la direction du projet de recherches et se sont montrés intéressés à en suivre les progrès et à agir à titre de conseils. Les contacts avec les milieux de la recherche universitaire ont donné lieu à la proposition d'établir un Réseau de centres d'excellence en robotique appliquée aux soins de santé. Le présent projet nous fournit l'occasion de nous concentrer dans cette voie.

Mémoires récents

Publiés

Amid, S., Tretheway, B., et Archibald, C. A system for calibrating the wrist-mounted laser range finder, CNRC/ERB-1012. Novembre 1988. 66 pages. CNRC 29799.

Archibald, C. Processing single range profiles from a wrist mounted laser range finder. Proceedings of Vision Interface '88, Edmonton (Alb.). 6–10 juin 1988. pp. 13–18. CNRC 28979. *Réimprimé sous le titre* Use of a wrist mounted laser range finder, *dans* «Computer Vision and Shape Recognition», Series in Computer Science, Vol. 14. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore. 1989. pp. 69–86. CNRC 30404.

Archibald, C., Gentleman, W.M., et O'Hara, D.H. Realtime feedback control using a laser range finder and Harmony. Proceedings of the 7th Canadian CAD/CAM & Robotics Conference, Toronto (Ont.). 15–16 juin 1988. pp. 6:56–6:62. CNRC 28978.

Elgazzar, S., Green, D., et Gentleman, W.M. Open system architecture of a multiprocessor robot controller. Proceedings of the 7th Canadian CAD/CAM & Robotics Conference, Toronto (Ont.). 15–16 juin 1988. pp. 6:63–6:69. CNRC 28977.

Gentleman, W.M. Multiprocessor realtime applications. IEE International Specialist Seminar on «The Design and Application of Parallel Digital Processors», Lisbonne, Portugal. 11–15 avril 1988. pp. 15–20. CNRC 28848.

Gentleman, W.M. Parallel computing you can do. Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on Underwater Acoustic Data Processing, Royal Military College of Canada, Kingston (Ont.). 18–29 juillet 1988. pp. 628–635. CNRC 30631.

Gentleman, W.M. Realtime applications: multiprocessor in Harmony. Proceedings of the BUSCON/88-East Conference, New York (NY). 4–6 octobre 1988. pp. 269–278. CNRC 29408.

Gentleman, W.M. Managing configurability in multi-installation realtime programs. Compte rendu du Congrès canadien en génie électrique et informatique, Vancouver (C.-B.). 3–4 novembre 1988. pp. 823–827. CNRC 30632.

Gentleman, W.M., MacKay, S.A., Stewart, D.A., et Wein, M. An introduction to the Harmony realtime operating system. IEEE Computer Society Technical Committee on Operating Systems Newsletter. Summer: 3–6; 1988. CNRC 29288.

Gentleman, W.M., MacKay, S.A., Stewart, D.A., et Wein, M. Using the Harmony Operating System: Release 3.0. CNRC/ERA-377. Février 1989. 65 pages. CNRC 30081.

Hung, S.H.Y. A practical approach of 3-D object recognition in range data. Proceedings of the 1st International Conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems. University of Tennessee Space Institute, Tullahoma (TN). 1er–3 juin 1988. Vol. II, pp. 1131–1138. CNRC 29184.

Hung, S.H.Y. A study on the feasibility of a global description of 3-D objects in range data for recognition purpose. Proceedings of Vision Interface '88, Edmonton (Alb.). 6–10 juin 1988. pp. 168–173. CNRC 29186.

Hung, S.H.Y. A graphics package for simulating the data of range finders. Proceedings of Vision Interface '88, Edmonton (Alb.). 6–10 juin 1988. pp. 115–121. CNRC 29185. *Réimprimé dans* «Computer Vision and Shape Recognition», Series in Computer Science, Vol. 14. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore. 1989. pp. 331–348. CNRC 30406.

Hung, S.H.Y. A Graphics Package for Simulating the Data of Range Finders. CNRC/ERB-1017. Septembre 1988. 19 pages. CNRC 29531.

Hung, S.H.Y. A fast 3-D object recognition algorithm for the vision system of a special purpose dexterous manipulator. NASA Conference on Space Telerobotics, Pasadena (CA). 31 janvier – 2 février 1989. CNRC 30044.

Korba, L.W., Liscano, R., et Durie, N. An intelligent mobile platform for health care applications. Proceedings from the International Conference of the Association for the Advancement of Rehabilitation Technology, Montréal (Qué.). 25–30 juin 1988. pp. 462–463. CNRC 29482.

Korba, L.W., Liscano, R., Green, D., et Durie, N. Issues concerning the development of a mobile platform for health care applications. Proceedings of SPIE Conference, Mobile Robots III, Cambridge (MA). 10–11 novembre 1988. pp. 309–313. CNRC 29599.

Liscano, R., Green, D., et Korba, L. W. Intelligent platform for health care applications. Premier atelier international sur les applications de la robotique dans les domaines de la médicine et des soins de santé. Ottawa (Ont.). 23–24 juin 1988. pp. 22.1–22.7. CNRC 29117.

MacKay, S.A., Gentleman, W.M., Stewart, D.A., et Wein, M. Harmony as an object-oriented operating system. ACM Sigplan Notices, 24(4): 209–211; 1989. CNRC 29636.

Merritt, C., Archibald, C., et Ng, T. Pose determination of a satellite grapple fixture using a wrist-mounted laser range finder. Proceedings of SPIE 1002, Intelligent Robots and Computer Vision: Seventh in a Series Advances in Intelligent Robotics Systems, Cambridge (MA). 6–11 novembre 1988. pp. 583–590. CNRC 29593.

Shepertycki, T.H. A knowledge-based framework for robot assembly experiments. Compte rendu du Congrès canadien en génie électrique et informatique, Vancouver (C.-B.). 3–4 novembre 1988. pp. 598–601. CNRC 29591.

Yamada, H., Merritt, C., et Kasvand, T. Recognition of kidney glomerulus by dynamic programming matching method. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. PAMI-10(5): 731–737; 1988. CNRC 30633.

Présentés

Archibald, C. Wrist-mounted laser range finders and applications. IBM Los Angeles Scientific Center, Los Angeles (CA). 6 février 1989.

Archibald, C. Wrist-mounted laser range finders and applications. Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena (CA). 23 février 1989.

Archibald, C. Wrist-mounted laser range finders and applications. University of Southern California, Los Angeles (CA). 24 février 1989.

Gentleman, W.M. The Harmony philosophy. Séminaire, «Harmony, Computer Graphics, and Experimental Psychology», Ottawa (Ont.). 23 juin 1988.

Gentleman, W.M. Managing configurability in multi-installation realtime programs. Séminaire, Department of Systems and Computer Engineering, Université Carleton, Ottawa (Ont.). 23 novembre 1988.

Gentleman, W.M. The context of the Harmony project: non traditional aspects of industrial use of computers. Séminaire de l'ACMIR, Ottawa (Ont.). 12 janvier 1989.

Gentleman, W.M. A development environment for Harmony. Computing and Information Science Department, Université Queen's, Kingston (Ont.). 31 janvier 1989.

Gentlemen, W.M. Managing configurability in multi-installation realtime programs. IEEE Kingston Section, Kingston (Ont.). 1er février 1989.

Gentleman, W.M., et Archibald, C. Robotics: three dimensions or more? The Conference on High Speed Computing. Lawrence Livermore and Los Alamos National Laboratories, Gleneden Beach (OR). 14–16 mars 1989.

Green, D., et Korba, L. Investigation and development of health care applications of a mobile robots: NRC's approach. Workshop on Applications of Mobile Robots and Computer Vision, Toronto (Ont.). 2 mars 1989.

Merritt, C. Image analysis of plant chromosomes. Symposium '88, Applications of Image Analysis, Image Analysis Group of Eastern Ontario, Ottawa (Ont.). 9 septembre 1988. (Invité.)

Roth, G. Early vision for range processing. NSF Range Image Understanding Workshop, East Lansing (MI). 21–23 mars 1988.

Stewart, D.A., et MacKay, S.A. Harmony software engineering. Séminaire, «Harmony, Computer Graphics, and Experimental Psychology», Ottawa (Ont.). 23 juin 1988.

Section de recherches en informatique

Chef — J.W. Brahan

Introduction

La Section de recherches en informatique s'intéresse à la recherche et au développement dans le domaine de l'intelligence artificielle appliquée, en particulier en ce qui a trait aux systèmes à base de connaissances. Les projets qui constituent le programme de la Section visent le développement d'outils et de méthodes pour les systèmes à base de connaissances et leur application en fonction de besoins réels. On favorise tout particulièrement la collaboration avec d'autres centres de recherches, au CNRC et ailleurs. À l'heure actuelle, la Section collabore avec le Laboratoire de génie biomédical sur des recherches en apprentissage par la découverte à partir de bases de données médicales et avec le Laboratoire des moteurs de la Division de génie mécanique en vue de l'application des systèmes experts au contrôle de l'état des moteurs. La Section compte parmi ses collaborateurs externes l'Université Laval, l'Université de Leeds, SystemOID Inc., Système Métavision Inc., MPB Technologies Inc. et Noranda Inc. Les travaux de la Section portent sur trois projets principaux : les systèmes à base de connaissances, les conseillers intelligents et le suivi de l'état des moteurs.

Systèmes à base de connaissances

Ce projet vise le développement et la démonstration d'une technologie souple et des outils de soutien pour la création de systèmes assurant l'acquisition, la représentation et l'application des connaissances. Ce projet comprend le développement d'un système prototype qui fasse la démonstration de l'apprentissage inductif, l'étude des systèmes experts de «seconde génération» qui exploitent des modèles de domaines dans leur base de connaissances, ainsi que le développement et la démonstration d'interfaces utilisateurs destinées aux systèmes experts.

Pendant la période couverte par le présent rapport, nos travaux ont porté en priorité sur la mise sur pied de projets en collaboration avec d'autres centres, de manière à concrétiser les tâches décrites dans le plan de projet. Une partie des activités futures dans les secteurs de la conception des systèmes d'informations techniques et des systèmes superviseurs intelligents viseront le soutien d'une entreprise pour la mise au point d'une installation de fabrication intégrée par ordinateur, sous réserve de l'obtention des fonds nécessaires. Noranda Research, MPB Technologies et le CNRC travaillent, dans le cadre de PRECARN (PRECARN Associates Inc.), au développement des technologies des systèmes experts dans le secteur de la commande des processus. Un rapport technique général a été rédigé sur les questions ergonomiques liées aux systèmes experts afin d'aider les opérateurs à la commande des processus en temps réel. On étudie présentement la possibilité d'utiliser le système d'exploitation Harmony pour l'implantation d'une coquille de système expert réparti exploité en temps réel et en architecture tableau noir. On élabore des modèles qualitatifs de la chimie de flottation du minerai afin d'étudier le recours à des expériences sur la fonction d'exploration des possibilités pour la gestion et la prise de décisions.

Réseaux de postes de travail SUN

W.H. Henneker

On a ajouté un sixième appareil au réseau de postes de travail SUN-3; il s'agit d'un SUN 3/60 avec 24 M-octets de mémoire et un disque de 327 M-octets. Le moniteur couleur relié à ce poste facilitera l'utilisation des logiciels GoodNeWS et HyperNeWS développés par le Turing Institute et perfectionnés par le CNRC. L'exploitation du réseau s'est stabilisée au point où il constitue la principale installation de calcul de la Section. Pendant le dernier mois de la période couverte par le présent rapport, un serveur maître de fichiers SUN 4/280 a été ajouté au réseau. Le MV/8000 de Data General qui fut le principal appareil de calcul de la Section pendant six ans sert encore aux opérations de sauvegarde, de télé-accès et de mémorisation sur disque; toutefois, le budget de cette année ne prévoit aucune dépense pour sa maintenance en profondeur. Le MV/8000 sera désigné matériel excédentaire au début de l'année financière 1989-1990.

Apprentissage par les machines

J.W. Brahan, A. Famili

L'objectif de ce projet est l'étude des méthodes d'apprentissage par la découverte à partir de données et la démonstration de la faisabilité de cette approche par son application à un sous-ensemble d'analyse de la criminalité et à une base de données médicales. Cette étude s'appuie sur les méthodes «d'apprentissage par l'observation». Deux approches font l'objet d'études. Le logiciel DUCE, fondé sur la logique formelle, identifie les notions par

simplification de la description logique des éléments qui forment l'ensemble. UNIMEM est une approche orientée mémoire qui exploite la similarité des attributs pour identifier les noeuds d'éléments apparentés, ainsi que des méthodes de renforcement négatif et positif pour établir les descripteurs des noeuds et éliminer les événements isolés qui ne font pas partie de groupes ou concepts significatifs. Les premières études ont été réalisées dans le domaine de l'analyse criminelle à partir de données sur les vols par effraction fournies par le Service de police de la ville d'Ottawa et on a commencé tout récemment les travaux sur une base de données médicales. Dans le premier cas, on dispose d'un grand nombre d'exemples, chacun étant décrit par quelques attributs. Dans le deuxième cas, les exemples sont peu nombreux, mais chacun comporte un grand nombre d'attributs. Les premiers travaux sur les données de vols par effraction ont permis de déceler certains problèmes résultant de l'inadéquation de la définition de l'emplacement géographique sous une forme intelligible pour le logiciel. On a entrepris de régler ce problème par la mise au point d'un logiciel de regroupement statistique afin de prétraiter les données d'emplacement et d'identifier les centres géographiques d'activité qui pourront servir de points de référence. Le traitement des données liées à ces groupes au moyen de DUCE a produit des tendances plus uniformes que les résultats antérieurs. Certains travaux préliminaires ont été effectués au moyen de ART afin de produire une structure pour les relations produites par l'algorithme d'apprentissage machine. On envisage l'utilisation de plus petites coquilles afin de produire un prototype pour les essais sur le terrain.

On a terminé la définition d'un système superviseur intelligent avec possibilités d'apprentissage. On a produit une interface qui permet à l'opérateur d'observer et de commander le fonctionnement d'un IMAFO (contremaître intelligent en fabrication). L'interface est un système à fenêtres qui gère une horloge, une fenêtre de menu, une fenêtre graphique et deux fenêtres de commande pour l'affichage du texte et les entrées par l'utilisateur. Un algorithme fondé sur la méthode d'apprentissage par l'observation a été développé pour le module d'apprentissage de IMAFO. Les éléments du module d'apprentissage, c'est-à-dire le récepteur d'entrée/moniteur, le généralisateur, la base de connaissances et une partie du module de compréhension, ont été développés au moyen de ART et de LISP. La figure 1 montre l'interface IMAFO.

Interface en langage naturel pour un système expert-tuteur

B. Farley

Ce projet porte sur la conception d'une interface en langage naturel pour le module d'explication d'un système expert-tuteur dans le secteur des investissements, développé par

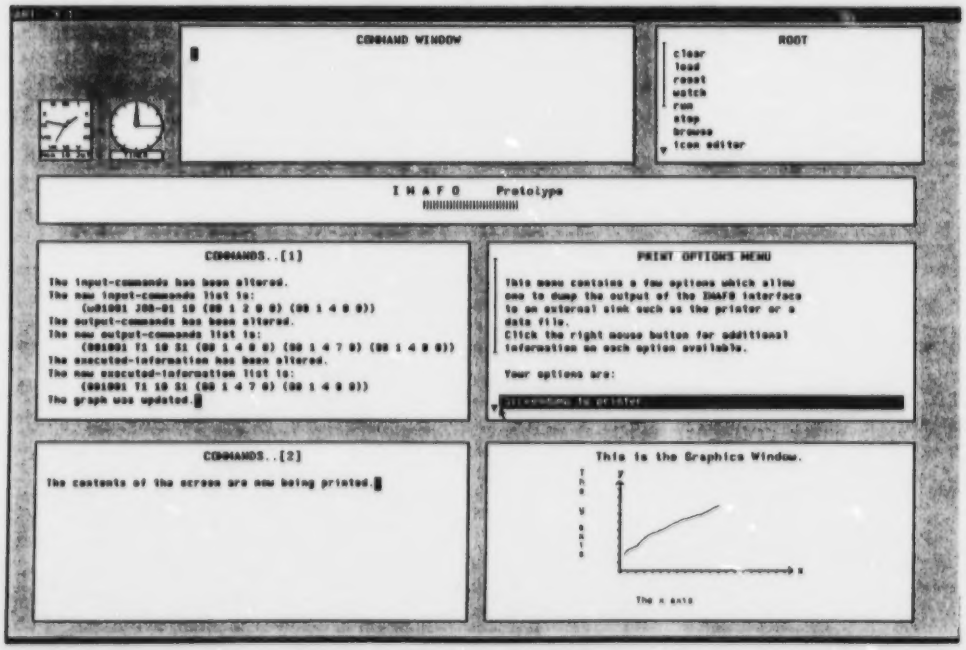


Figure 1. L'interface IMAFO.

Métavision de Montréal à partir de leur coquille de système expert-tuteur TRILOGY. Notre objectif est l'établissement des lignes directrices méthodologiques pour la réalisation d'interfaces en langage naturel dans des applications similaires. Les sous-tâches du projet sont le développement d'une grammaire française qui servira à l'analyse des phrases françaises avec un analyseur Prolog, le développement de l'analyseur, la définition d'un langage logique formel pour représenter la sémantique des phrases, la définition d'un formalisme de représentation des connaissances pour encoder les connaissances du domaine d'application, et l'élaboration d'une méthode d'inférence/déduction pour l'analyse et l'interprétation de la signification des phrases. La plupart de ces trois premières sous-tâches ont été réalisées.

La grammaire implantée est une version du formalisme de Michael McCord, «Modular Logic Grammar», adapté au français et modifié de manière qu'il soit conforme aux contraintes d'une implantation sur micro-ordinateur. À l'heure actuelle, la grammaire couvre une bonne partie de la langue : la structure de base sujet–verbe–complément dans des affirmations, les questions du type «est-ce-que», les modificateurs de substantifs sous forme de propositions et d'adjectifs, les compléments de propositions relatives, etc. Le travail est loin d'être terminé, en particulier sur le plan des conjonctions, des questions et de l'analyse des verbes. L'analyseur est du type Prolog descendant, profondeur en premier et gauche à droite; on a étudié la possibilité de l'améliorer grâce à un mécanisme tabulaire (tableau). Les problèmes du discours n'ont pas encore été examinés, mais le système final devrait pouvoir traiter les anaphores et les phrases incomplètes, dans lesquelles une partie du discours n'est pas énoncée. Le formalisme MLG comporte son propre langage de forme logique pour la représentation de la signification des phrases analysées. D'autres modes de représentation logique comme la forme clausale en logique du premier ordre ont été envisagés en vue de définir un mécanisme d'inférence/déduction.

Systèmes experts en temps réel

J.W. Brahan, L. Buck, A. Diaz, R.A. Orchard, R.H. Wylie

Les travaux actuels dans ce secteur portent sur le développement d'un système expert de pointe en temps réel et sur des outils subordonnées de conception par le biais d'une étude de faisabilité PRECARN, en collaboration avec MPB Technologies Inc. et Noranda Inc. Ce projet peut aussi compter sur le savoir-faire de chercheurs universitaires dans le secteur de la commande des processus et de l'intelligence artificielle.

La réalisation de systèmes complexes en temps réel est coûteuse et les contraintes de synchronisation sont souvent implantées et vérifiées par des méthodes qui rendent très onéreuses les modifications. La technologie des systèmes experts pourrait être combinée à d'autres éléments de l'automatique, comme le traitement parallèle, de manière à produire des systèmes d'un meilleur rendement.

On travaille présentement au développement du prototype de validation du principe qui appliquera le raisonnement fondé sur modèle, les méthodes à tableau noir et le système d'exploitation Harmony pour la commande d'une cellule de flottation cuivre–zinc. Une étude détaillée sur les systèmes experts existants a été réalisée et un texte d'aperçu a été rédigé.

Outils d'interface utilisateur

S. Abu-Hakima

La version 1.1 du logiciel GoodNeWS/HyperNeWS a été implantée dans le cadre de la poursuite de notre collaboration avec le Turing Institute. Plusieurs conseillers de démonstration on été implantés grâce à l'interface à piles HyperNeWS, dont un conseiller sur les systèmes d'élimination des produits chimiques toxiques. Parmi les travaux de développement présentement en cours, on compte un module de consultation des connaissances et l'interface GoodNeWS/HyperNeWS–RATIONALE, ainsi qu'un conseiller sur la protection contre le brouillage électromagnétique (EMH).

Le premier sous-projet a été entrepris en collaboration avec KnowledgeWorks Research Systems Limited et produira un module de consultation/éditeur pour base de connaissances, implanté au moyen de RATIONALE, un outil de raisonnement destiné à l'implantation de systèmes experts capable de raisonner explicitement aux fins de donner des explications. L'interface module de consultation/éditeur a été implantée au moyen de fenêtres GoodNeWS et de piles HyperNeWS. Ces travaux nécessitent le recours aux langages PostScript et C, ainsi qu'à l'interface Quintus Prolog avec RATIONALE.

Le conseiller sur la protection contre le brouillage électromagnétique a été mis au point en collaboration avec la Section d'énergie. Le conseiller compte cinq piles HyperNeWS qui exigent que la conception du système (qu'il s'agisse d'un simple oscilloscope ou d'un aéronef) tienne compte des exigences de protection contre le brouillage électromagnétique. Les cinq piles utilisent HyperNeWS pour

l'interface utilisateur et Quintus Prolog pour la logique de la définition du système de l'utilisateur.

Système conseillers intelligents

J.W. Brahan, A.J. Craddock, R.A. Orchard, A.T. Parent, C.S. Phan

Les systèmes avec fonctions intégrées de traitement et de mémorisation des données constituent un environnement naturel pour l'application des systèmes à base de connaissances dans le contexte des services de soutien à l'utilisateur. Le recours à un «conseiller intelligent» à titre d'interface entre l'utilisateur et le système peut faciliter la familiarisation d'un nouvel utilisateur du système, aider l'utilisateur occasionnel ou de niveau intermédiaire, et assurer les services d'aide à l'utilisateur expérimenté dans des situations spéciales. C'est dans ce contexte que le CNRC, l'Université Laval, l'Université de Leeds et SystemOID Inc. collaborent au développement d'un système conseiller intelligent pour des applications générales. Bien que l'objectif soit la mise au point d'un système généralisable, le projet porte plus que sur une «coquille de conseiller générique». L'objectif est l'identification et le développement d'un logiciel générique de base (la coquille) qui permette la création et l'implantation générales de systèmes conseillers et le développement des méthodologies pour l'application du système à des domaines spécifiques et son adaptation aux exigences de l'utilisateur. Le projet adopte une approche montante, ce qui signifie qu'un sujet spécifique a été identifié aux fins de la démonstration de faisabilité et que la solution de ce problème spécifique sera ensuite généralisée à un ensemble plus large de domaines d'application. Les travaux sur le projet ont été lancés formellement lors d'une réunion des intervenants en juillet 1987, au cours de laquelle un consensus s'est dégagé quant au concept fondamental du Conseiller et aux responsabilités respectives des organismes participants. Il a été décidé que la phase de modelisation conceptuelle de la méthodologie de conception de base de données fera l'objet de la démonstration de faisabilité et que l'outil de conception de base de données CONSOI-ERM produit par SystemOID Inc. constituera le système informatique cible.

Jusqu'à présent, les activités ont surtout porté sur le processus d'acquisition des connaissances. On a identifié les concepts reliés à la modelisation conceptuelles des données, les protocoles de questions de l'utilisateur et réponses, et la relation entre les questions de l'utilisateur et les concepts. Les notions de base ont été définies par les intervenants de l'Université Laval, qui étudient aussi les relations questions-concepts. Le CNRC a réalisé un simulateur qui permet de recueillir les protocoles de questions–réponses avec un expert humain qui sert de conseiller et communique avec l'utilisateur via une liaison informatique. L'utilisateur voit le système sous la forme qu'il prendra dans l'implantation prototype. Le simulateur a été appliqué à trois cas, c'est-à-dire l'utilisateur débutant, intermédiaire et expérimenté, et les données ont été transmises à l'Université de Leeds pour l'analyse des protocoles de question–réponse. Les résultats de cette analyse identifieront les types de questions posées par l'utilisateur, les types de questions possibles du module d'intervention et les raisons «génériques» des décisions de l'expert. Les données expérimentales du simulateur serviront aussi de scénario pour étudier les conséquences de l'élimination des identificateurs sémantiques sur la production d'une réponse efficace par le conseiller humain, ainsi qu'aux tests des divers modules du conseiller à mesure de leur implantation. Le simulateur doit aussi servir de cadre de travail au développement du premier prototype; on ajoutera graduellement des modules au système et on les utilisera avec le conseiller humain jusqu'à ce que celui-ci ait été éliminé du processus.

Des documents de travail on été préparés sur les diverses composantes du projet : les connaissances du domaine, le modèle de l'utilisateur, la représentation des connaissances, l'interface utilisateur, le simulateur de question–réponse, l'identificateur de plan, et le module tutoriel. Chacun de ces documents identifie les divers aspects de la question, la méthodologie ainsi que les résultats prévus, et décrit les renseignements sur les derniers développements dans le domaine, s'il y a lieu. On a rédigé un texte d'aperçu sur ce projet.

Le CNRC a développé une première version de l'interface avec CONSOI, mais l'implantation ne peut se faire avant la réception d'informations provenant de SystemOID sur les messages détaillés à envoyer au Conseiller et sur l'apport des modifications internes à CONSOI pour permettre la connexion de l'interface. Par suite de suggestions exprimées pendant une réunion de révision à mi-projet, on a lancé une étude de l'approche qui isolera l'interface de manière que CONSOI ne nécessite pas d'autres modifications, même si des modifications substantielles sont apportées à l'interface du Conseiller. Une structure a été proposée pour le modèle de l'utilisateur et certains travaux préliminaires de développement du prototype ont été réalisés au moyen du

système de développement ART. La définition des règles de maintenance du modèle de l'utilisateur dépend de l'obtention de détails additionnels sur les renseignements à recevoir de CONSOI. Les travaux sur la représentation des connaissances nécessiteront une collaboration étroite entre l'Université de Leeds et les experts du CNRC afin de profiter de certains des outils mis au point dans le cadre du projet EuroHelp.

Des travaux détaillés ont été effectués à l'Université Laval sur la définition du contenu du domaine. Un prototype du module d'intervention a été mis au point aux fins d'utilisation avec un outil de conception de base de données implanté dans un IBM-PC. Le logiciel est écrit en C et on devra le convertir en Common LISP ou y adjoindre une liaison afin de permettre son intégration au prototype du Conseiller intelligent. Le chercheur responsable du module tutoriel s'absente de l'Université Laval pour une longue période et ne pourra plus participer au projet. M.M. Boulet a accepté de prendre la relève et d'intégrer ces activités à la mise au point du module d'intervention.

Les chercheurs de l'Université Leeds ont fait certains progrès sur le module de question–réponse. On a identifié les phases des travaux portant sur un problème de modélisation entité-relation (ER). Les notions ER ont été définies et on travaille à la définition de «bonnes règles pratiques». On a introduit la notion du recours à un problème spécifique dans le processus de réponse aux questions. Le Conseiller intelligent incorporera donc les objectifs de conception de l'utilisateur et peut-être certaines données sémantiques spécifiques au problème qui pourront servir à la production de réponses plus complètes aux questions de l'utilisateur. Le Conseiller pourra disposer d'un mode de «formation guidée» qui pourrait être particulièrement efficace dans un processus tutoriel fondé sur des études de cas.

L'acquisition des connaissances du domaine et des informations détaillées sur l'interface CONSOI ont nécessité beaucoup plus d'énergie que les prévisions de notre plan original, ce qui a eu un impact sur les autres activités; le calendrier du projet a donc été retardé. Il est à noter toutefois que compte tenu du nombre de facteurs encore inconnus au moment de la préparation du plan original, le retard n'est pas excessif. Une correction intérimaire a été apportée au calendrier en mars, lors d'une réunion du comité de direction et le projet a été prolongé jusqu'en août 1990. L'état des activités établi lors de la réunion de mi-projet indique qu'il serait souhaitable de reporter encore plus loin l'échéance. Toutefois, il a été décidé de n'apporter aucune prolongation pour l'instant, tout en autorisant une certaine réduction des capacités fonctionnelles du prototype initial. On disposera donc de la «validation du principe», des notions de conception de base, et des informations nécessaires pour décider si on doit passer ou non à un prototype complet.

Suivi de l'état des moteurs

S. Abu-Hakima. P.L. Davidson. M.S. Halasz, C.S. Phan

Ce projet applique les méthodes de l'intelligence artificielle (IA) aux tâches de suivi de l'état des moteurs et du diagnostic des défaillances. Ce projet a été entrepris en collaboration avec le Laboratoire des moteurs de la Division de génie mécanique et fait partie d'une étude plus vaste sur le suivi de l'état des moteurs réalisée par ce laboratoire pour le compte du ministère de la Défense nationale.

L'état des moteurs et d'autres machines complexes est indiqué par des paramètres comme la température, la pression, la puissance de sortie, le bruit, la consommation de carburant et de lubrifiant, l'état physique des composants et d'autres mesures générales de la performance. L'information qui aide à l'interprétation des paramètres de performance se trouve parfois dans le journal du matériel, dans les dossiers d'entretien régulier et de remise en état, dans les dossiers de remplacement des composants et dans les manuels d'entretien, ou peut être déduite grâce à l'expérience du technicien d'entretien. La quantité totale et la complexité des informations disponibles sont telles que seulement une partie restreinte des informations est utilisée pour évaluer l'état d'une machine ou le diagnostic d'une défaillance, et ce même par un technicien d'expérience.

La technologie de l'intelligence artificielle (IA) permet de combiner les connaissances disponibles et les données provenant d'une machine spécifique, de manière à mettre à la disposition du technicien un moyen d'utiliser plus efficacement les informations disponibles pour l'évaluation de l'état du matériel. Elle peut guider le technicien dans la sélection des procédures de test appropriées, produire une évaluation générale de la situation à partir des données rétrospectives ou des données actuelles des tests, et assurer la continuité des tâches réparties sur plus d'un quart de travail ou effectuées par plus d'un technicien. La technologie de l'IA peut aussi être appliq'ée à l'analyse des données historiques et aux données de banc d'essai pour trouver les relations

qui peuvent servir à l'identification ou à la prédiction des défaillances du matériel.

Deux activités sont présentement en cours dans le cadre de ce projet. Il s'agit du Système intelligent de consultation pour le diagnostic de turbo-réacteurs et de l'outil de modélisation d'analyse des données transitoires.

Diagnostic — Système intelligent de consultation pour le diagnostic de turbo-réacteurs

Depuis juin 1988, les travaux de ce projet visent surtout l'implantation d'un conseiller de diagnostic et de dépannage pour l'entretien et la réparation des turbo-réacteurs. On a adopté une approche généralisée du problème de l'entretien des moteurs par l'implantation d'un système générique pour le diagnostic, plutôt que de concentrer les travaux sur un conseiller destiné à une application spécifique dans le domaine des moteurs.

Le système générique de diagnostic est présentement appliquée aux problèmes d'accélération du turbo-réacteur J85-CAN-15 et sera appliquée aux problèmes des moteurs à réaction sur d'autres aéronefs (par exemple, le moteur F404). Les connaissances liées au diagnostic de ces problèmes ont été recueillies par suite d'une collaboration étroite avec les experts du J85 du Laboratoire des moteurs. L'équipe compte quatre chercheurs : le premier a recueilli les connaissances auprès des experts du Laboratoire des moteurs, y compris un technicien expert (qui compte environ 20 ans d'expérience dans l'entretien du J85); le deuxième a implanté l'algorithme de raisonnement du système au moyen de ART — un outil fondé sur LISP qui tourne sur les postes de travail SUN et Symbolics; le troisième a implanté l'interface utilisateur du système; le quatrième a participé à la conception détaillée et à l'implantation de la représentation des connaissances pour le système. À la mi-décembre 1988, on a fait la démonstration d'un prototype du Conseiller technique sur les moteurs à réaction (JETA) pour un sous-ensemble (120 noeuds, c.-à.-d. procédures de test et de réparation) des défaillances d'accélération du J85.

Parmi les activités prévues en 1989–90, on compte l'essai sur le terrain du système au Laboratoire des moteurs de la DGM et à la Base des Forces canadiennes à Cold Lake en Alberta. L'extension prévue du système passera entre autres par l'implantation d'une composante de suivi en temps réel des capteurs, ce qui permettra à JETA de recevoir des entrées de détecteurs provenant d'une cellule de test montée sur le moteur et d'en diagnostiquer les défaillances.

Outil de modélisation d'analyse des données transitoires

Le projet EHM comporte une autre activité, lancée en septembre 1988, l'analyse des méthodes d'apprentissage par les machines à titre d'aides à l'interprétation et au diagnostic des données de défaillances provenant de capteurs montés sur un turbo-réacteur. On crée des défaillances dans un turbo-réacteur installé dans un banc d'essai du Laboratoire des moteurs et on enregistre les données de capteurs pendant un test. Les capteurs mesurent jusqu'à 15 paramètres du moteur (par exemple le débit du carburant, la vitesse, la température, la poussée) pendant divers intervalles. Traditionnellement, les résultats des tests sont portés sur graphique et sont étudiés au Laboratoire des moteurs afin d'établir des liens entre les données et les défaillances. La DGE applique des méthodes d'apprentissage par les machines qui regroupent et corrèlent les paramètres de performance mesurés. Le regroupement vise à identifier des règles qui décrivent le comportement défaillance-paramètre pendant un essai. Ces règles sont ensuite combinées dans un programme de diagnostic qui peut accepter les résultats d'un test en entrée et produire une interprétation de cet essai en sortie. Cette interprétation identifie tout comportement inhabituel du moteur, ainsi que les motifs justifiant l'identification de ce comportement. Cette information est ensuite appliquée au programme J85 JETA pour isoler plus précisément la défaillance et la corriger.

La première étape de ces travaux a consisté en l'identification des règles de comportement inhabituel défaillance-paramètre. Pour ce faire, on a appliqué les données des tests à l'algorithme d'apprentissage. Pour l'instant, on a identifié les jeux de règles et de défaillances qui décrivent les valeurs des paramètres de performance correspondant à ces défaillances. On combine présentement ces jeux de règles dans un programme de diagnostic. Lorsque les données d'un test sont introduites dans le programme, un diagnostic de défaillance ou de non-défaillance est produit en sortie et des indicateurs précisent pourquoi on soupçonne l'existence d'une défaillance. Si le programme ne peut établir de diagnostic de défaillance ni de non-défaillance, il indique à l'utilisateur pourquoi il ne peut prendre de décision à partir des données de test qu'on lui a soumises. Jusqu'à présent, cette étude est un succès. La réaction du personnel qui analyse traditionnellement les données au Laboratoire des moteurs a été positive et ils fournissent

présentement d'autres données de tests. Ces tests serviront à améliorer les règles de l'algorithme de diagnostic. Une démonstration et évaluation préliminaire du premier algorithme a été terminée en décembre 1988.

Mémoires récents

Publiés

Abu-Hakima, S. RATIONALE: A tool that reasons explicitly for the purpose of explanation. Proceedings of the AAAI '88 Workshop on Explanation, St. Paul (MN). 22 août 1988. pp. 26–29. CNRC 29286.

Abu-Hakima, S., Davidson, P., Halasz, M., et Phan, S. JETA: the Jet Engine Technical Advisor. Proceedings of the First Expert Systems Applications Workshop at RMC, Kingston (Ont.). 2–3 mars 1989. pp. 138–144. CNRC 30036.

Buck, L. What is ergonomics and what can it do for transportation? Proceedings of the Seminar in Transportation Ergonomics, Montréal (Qué.). 14 octobre 1987. Publié par le Centre de développement des transports, Montréal (Qué). Août 1988. pp. 9–33. CNRC 30656.

Buck, L., et Turpin, B.A. Comparing two methods of informing operators what might happen next. Ergonomics, 31(2): 161–171; 1988. CNRC 29066.

Buck, L., et Turpin, B.A. Text editing with a formatting utility. Comptes-rendus du 21e Congrès annuel de l'Association canadienne d'ergonomie, Edmonton (Alb.). 17 septembre 1988. pp. 191–194. CNRC 30693.

Bumbaca, F. Intelligent computer-assisted instruction: a theoretical framework. Int. J. Man-Machine Studies, 29: 227–255; 1988. CNRC 30318.

Heron, R.M., et Buck, L. (Editeurs). Proceedings of the Seminar in Transportation Ergonomics, Montréal (Qué.). 14 octobre 1987. Publié par le Centre de développement des transports, Montréal (Qué.). Août 1988.

LoVetri, J., et Abu-Hakima, S. Applying expert system techniques to the electromagnetic hardening domain. Proceedings of the Technical Liaison Group on Electromagnetic Hardening Problems, Ottawa (Ont.). 27–29 septembre 1988. CNRC 30050.

Phan, C.S., et Henneker, W.H. A Specification for the NATAL Symbolic Instruction Language. CNRC/ERB-1018. Janvier 1989. 101 pages. CNRC 29957.

Vernadat, F. Engineering information systems: a tutorial. Proceedings of the 4th International Conference on Systems Research, Informatics, and Cybernetics, Baden-Baden, République fédérale allemande. 15–21 août 1988. CNRC 29511.

Vernadat, F. Which way for the fourth-generation? Can. Datasyst. 20(6): 69–75; 1988. CNRC 28293.

Présentés

Abu-Hakima, S. Applying statistical analysis techniques to improve the accuracy and reliability of learned hypotheses. Machine Learning Seminar, Université Carleton, Ottawa (Ont.). 22 mars 1989.

Brahan, J.W. Applied artificial intelligence: potential for industry. 75th Annual Meeting of the Technical Section CPPA, Montréal (Qué.). 2 février 1989. CNRC 29975.

Davidson, P. Machinery health monitoring. CANMET Symposium, Timmons (Ont.). 22–23 novembre 1988.

Henneker, W.H., et Orchard, R.A. Automated Reasoning Tool (ART) — Part 1. Un cours presenté au personnel du Conseil national de recherches, Ottawa (Ont.). 11–15 août 1987; 5–9 octobre 1987.

Section photonique et capteurs

Chef — J. Domey

Introduction

Les activités de recherche de la Section photonique et capteurs ont pour but la découverte de nouveaux principes de mesure et la mise au point de systèmes de capteurs combinant les techniques optiques, électroniques et informatiques. L'automatisation industrielle est le but premier de nos activités, mais les techniques génériques développées ont trouvé des applications dans plusieurs domaines dont, par exemple, des capteurs pour l'aviation, le guidage de robots de soudage à l'arc, l'inspection de circuits imprimés et la reproduction d'objets tridimensionnels (3D).

Durant la dernière année, les travaux en vision 3D ont porté sur la réalisation des fichiers d'images 3D, conçus pour être un outil pour les chercheurs développant des logiciels de vision 3D, de même que la démonstration de techniques d'inspection de haute précision. Des techniques d'amélioration de la plage dynamique en intensité ont été démontrées et installées sur un capteur de vision 3D améliorant les performances de façon marquée. La conception d'un capteur 3D à taux vidéo a été complétée et le premier prototype sera bientôt en marche. La technique du capteur 3D BIRIS a aussi été démontrée pour la mesure panoramique à distance moyenne applicable en robotique mobile. Un effort accru est aussi placé sur le développement de logiciels d'interprétation des images 3D de même que sur leur implémentation matérielle pour la réalisation de systèmes de vision 3D temps réel. Les efforts initiaux sont mis sur la segmentation des images 3D, étape clef de la réalisation d'un grand nombre d'applications en vision 3D.

Les travaux sur les composantes photoniques ont conduit à la réalisation d'un laser et d'un détecteur de position opérant à la longueur d'onde de 1,5 µm, qui est considéré sécuritaire pour l'oeil, ceci dans le but de rendre sécuritaire les capteurs 3D. L'étude des techniques de capteurs optiques et de traitement optique de signaux a conduit à des réalisations telles, entre autres, une nouvelle technique de démodulation de phase dans un matériau nonlinéaire, la mise au point d'un laser au saphir dopé au titane et l'évaluation de nouveaux types de guides d'ondes multicouches.

Des collaborations avec l'industrie nous ont permis de transférer la technologie mise au point dans nos laboratoires et, dans certains cas, de travailler conjointement à l'étude de certains aspects d'intérêt commun. Plusieurs universités collaborent aussi avec nous à la recherche en vision 3D et sur les composantes photoniques.

Vision 3D

Fichiers d'images 3D

M. Rioux

Le dernier prototype de caméra 3D mis au point au laboratoire, la caméra 3D à volumes de mesure multiples décrite dans le *Bulletin*, 3(2), a été utilisé pour créer des fichiers d'images 3D regroupées en quatre chapitres d'environ 50 images chacun.

L'objectif visé est de fournir aux scientifiques — informaticiens un outil pour le développement de logiciel d'interprétation d'images 3D. Ces données sont disponibles, à tous les chercheurs le désirant, sous forme binaire ou ASCII. Des informations détaillées concernant ces images sont fournies gratuitement dans une publication, *Les fichiers d'images tridimensionnelles du CNRC* (CNRC nº 29077).

Pendant la réalisation du travail, nous avons expérimenté quelques techniques d'affichage des images 3D. La figure 1 nous en montre quelques-unes. Ces photographies nous montrent différentes formes d'affichage à partir d'une seule acquisition 3D (x, y, z, l). Les trois premières coordonnées représentent la position spatiale d'un élément de surface de l'objet, tandis que l, l'autre coordonnée, est proportionnelle entre autres à sa réflectivité.

Toutes les coordonnées obtenues à partir d'une acquisition nous sont montrées aux photographies (g) et (h). En (g), nous avons x, y, z. Les valeurs de z (élévation ou distance) sont codées en niveaux de gris. En (h) nous avons x, y, l et les valeurs de l qui sont en registre avec les valeurs de z sont proportionnelles à la réflectivité de l'objet dans la scène (essentiellement une photographie de la scène à la longueur d'onde du laser). Les données de distance et d'intensité peuvent être combinées ensemble dans une seule et même vue (tel qu'illustré en (k) et (l)). Il s'agit d'une vue stéréoscopique (vue avant) générée à partir des données illustrées en (g) et en (h). Il est à noter qu'on peut ainsi générer des vues stéréoscopiques de dessus, de dessous ou même de côté en utilisant le même fichier de données (x, y, z, l). En (e) et en (f), il s'agit aussi

Figure 1. Techniques d'affichage 3D.

d'une vue stéréoscopique pour laquelle *x*, *y* et *z* seulement ont été utilisés (les données *I* ne sont pas utilisées). Les ombrages sont créés en dérivant les données de distance suivant l'axe des *x*. Ce traitement des données augmente l'effet stéréoscopique en révélant des détails de surface. Les autres photographies nous montrent différentes représentations du fichier *x*, *y*, *z*. En (b) nous avons des lignes de contour représentant des élévations de même valeur (similaire aux cartes topographiques). En (i) nous avons essentiellement la même chose pour un codage en couleur des données d'élévation. En (j) nous utilisons un logiciel de «rendu» afin d'obtenir une photographie «synthétique» des données 3D (il y a trois sources de lumière suivant trois orientations différentes). En (d) nous montrons une représentation en fil de fer pour laquelle les lignes cachées ont été enlevées, et, finalement en (a) et (c) nous montrons deux différentes vues isométriques.

Inspection dimensionnelle

M. Rioux

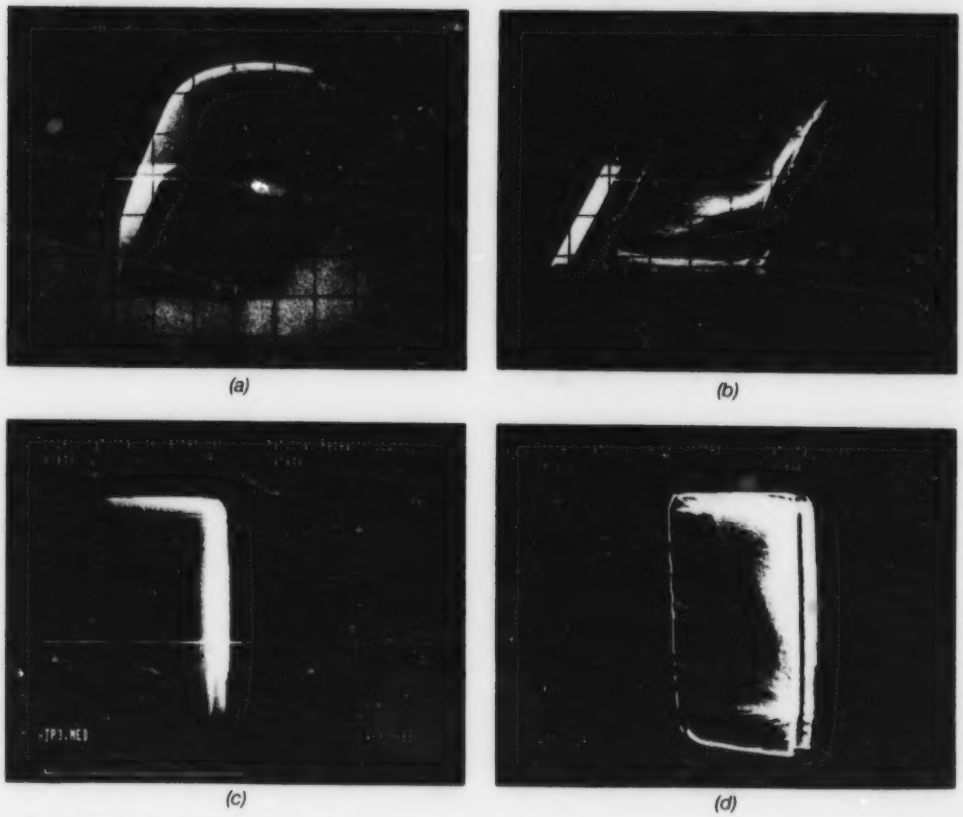
Des mesures comparatives ont été effectuées sur des pièces métalliques formées entrant dans la fabrication d'automobiles.[1] Notre système de mesure 3D a permis de mettre en évidence des différences de l'ordre de 5 µm. La figure 2 nous montre des photographies illustrant les résultats expérimentaux.

Il est intéressant de noter que les différences mesurées entre les deux pièces sont inférieures au bruit d'acquisition des pixels composant l'image. C'est grâce à des techniques de filtrage d'image qu'on peut ainsi réduire considérablement le bruit d'acquisition.

Bruit de granularité

R. Baribeau,[2] M. Rioux

Dans le cadre d'une entente de collaboration avec la compagnie Servo-Robot Inc., nous



(a) *(b)* *(c)* *(d)*

Figure 2. (a) Données 3D d'acquisition sur un premier objet, (b) différence entre un deuxième objet (similaire au premier) et celui montré en a, (c) les mêmes données de différences représentées en niveau de gris, (d) dérivée des données de différences illustrant le bruit de mesure ainsi que des déformations reliées aux techniques de fabrication de la pièce.

[1] Ce travail a été partiellement fait sous contrat pour Hymarc Ltd.

[2] Travailleur invité.

avons complété l'analyse du bruit de granularité sur les mesures 3D utilisant un système à balayage synchronisé. Un modèle a été mis au point afin de prévoir l'importance de ce bruit pour différentes configurations. Ces études ont révélé des avantages comparatifs des techniques de balayages synchronisés tels que l'amélioration des mesures par intégration spatiale. En effet, l'intégration spatiale est inefficace pour des configurations conventionnelles puisque les patrons granulaires sont stables sur les éléments de détection (DTC typiquement), et ceci, indépendamment des caractéristiques du système de projection laser.

Lentilles pour caméra 3D

M. Rioux

Quatre lentilles ont été développées en collaboration avec l'Institut d'optique de Xian (Chine). Trois scientifiques de cet institut, avec l'aide d'un logiciel développé par I. Powell de la Division de physique, ont réalisé la conception optique et mécanique de lentilles optimisées pour trois prototypes de caméras 3D développés dans nos laboratoires. Deux de ces lentilles seront intégrées au système de mesure à multiples volumes. Une autre permet d'augmenter la résolution de la caméra en *x*. Et enfin, une lentille très compacte et beaucoup plus performante que les lentilles conventionnelles nous permettra d'augmenter à un degré appréciable les performances de BIRIS. Des demandes de brevets sont en cours.

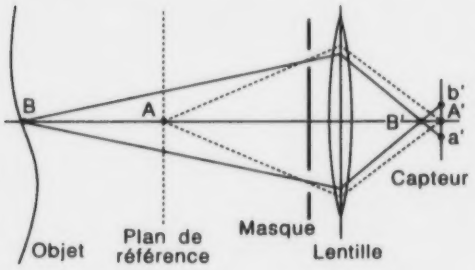


Figure 3. (a) Principe de base de BIRIS pour mesures de distances variant entre 0,5 et 4 m.

BIRIS actif pour la robotique mobile

F. Blais, J. Domey, M. Rioux

L'utilisation par un robot mobile de systèmes de mesures 3D est un apport important pour le guidage, la détection et la localisation d'obstacles. Dans l'optique du projet de plateforme mobile autonome initié par la Section d'automatique et la Section de génie médical, nous avons entrepris l'évaluation du capteur appelé BIRIS pour des applications de navigation intérieure. Dû à ses très petites dimensions physiques et à sa grande robustesse mécanique, ce capteur est d'un très grand potentiel pour de telles applications.

La figure 3 représente le principe de base du capteur pour des mesures de distance variant entre 0,5 et 4 m. Contrairement aux applications de contrôle précédemment démontrées, le plan de référence est situé devant la scène. La séparation entre les points mesurés sur le photodétecteur sont en relation directe avec la distance de l'objet mesuré. La figure 4 représente le prototype utilisé pour l'évaluation tandis que les figures 5 a et b montrent les résultats expérimentaux obtenus.

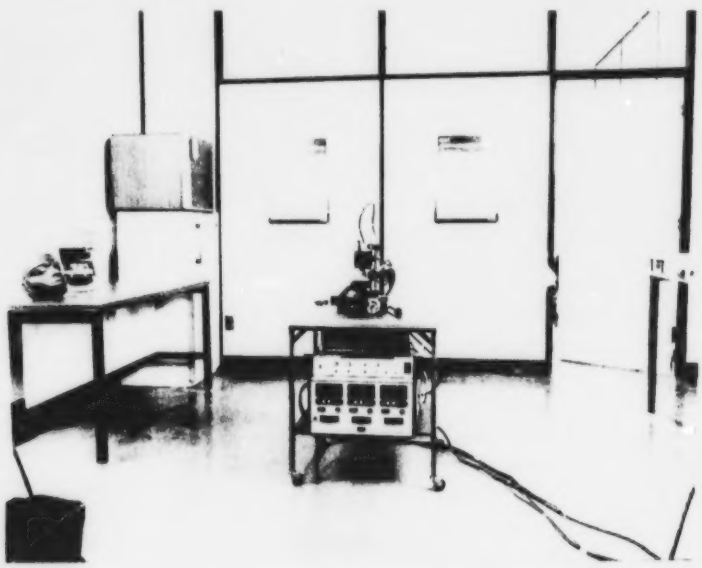
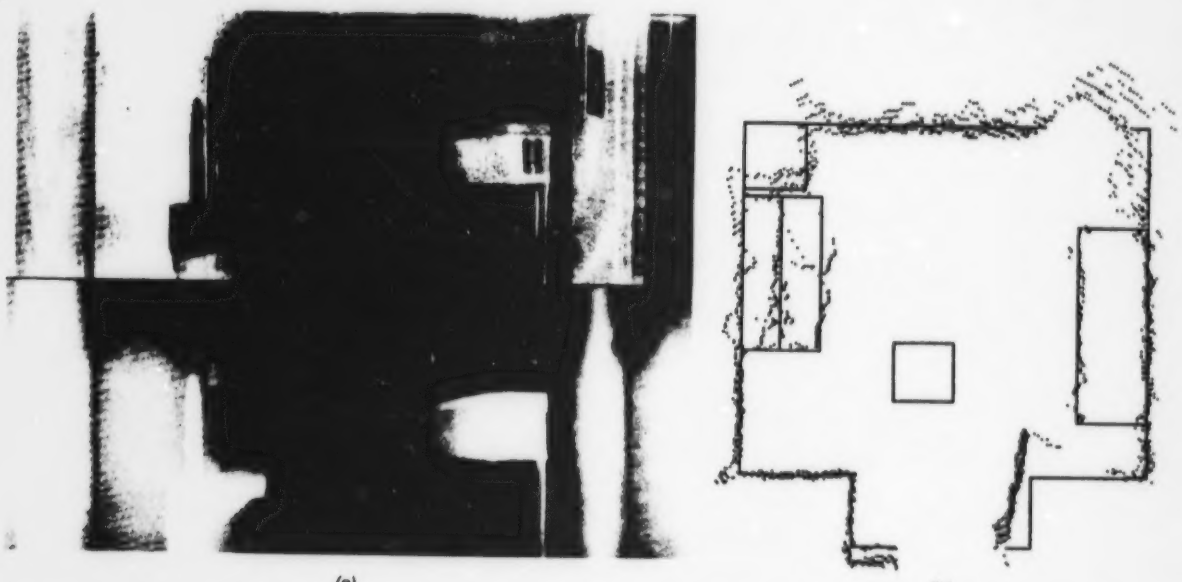


Figure 4. Montage expérimental pour l'évaluation de BIRIS dans des applications de robots mobiles.

Contrôleur de galvanomètre — Optimisateur d'excitation

F. Blais

Un système adaptatif de contrôle de galvanomètre est présentement en cours de développement. Un processeur rapide (DSP) est utilisé pour modifier l'excitation fournie à un galvanomètre de façon à ce que la réponse à cette excitation corresponde à la sélection désirée. L'erreur entre excitation désirée et la réponse réelle du galvanomètre est utilisée pour corriger le signal d'excitation. Un modèle du galvanomètre, interne au DSP, pondère le signal de correction et stabilise la convergence de l'algorithme. Le système étant auto-adaptatif, tout changement aux caractéristiques physiques du galvanomètre peuvent être automatiquement compensées.



(a) (b)

Figure 5. (a) Vues panoramiques obtenues par une rotation de 360° du capteur autour de son axe. Haut : Image en intensité. Bas : Image 3D, l'intensité étant en relation directe avec la distance de l'objet au capteur. (b) Reconstruction de la carte de profondeur mesurée.

Élargissement de la plage dynamique de télémètres actifs

F. Blais, J.-A. Beraldin

La plage d'exactitude de la plupart des capteurs 3D est limitée en raison des importantes variations de l'intensité lumineuse reçue. La plage dynamique de certaines scènes s'étend typiquement sur six ordres de grandeur. Des travaux de recherches portant sur des méthodes pouvant élargir la plage dynamique de nos télémètres actifs ont permis la démonstration de deux méthodes complémentaires. Ces deux méthodes sont destinées à des capteurs 3D équipés d'un analyseur linéaire à semiconducteurs formé d'un réseau linéaire de photodétecteurs (par exemple des dispositifs à transfert de charge, DTC). Le premier système commande la source à diode laser de manière à ne jamais dépasser l'exposition de saturation sur chaque photodétecteur du réseau linéaire. L'utilisation du système avec un télémètre a permis de multiplier par 100 la plage dynamique, mais l'utilisation du circuit dans un environnement simulé a montré qu'il est possible d'atteindre un facteur 1000.

Un circuit électronique a aussi été développé pour utiliser efficacement toute la plage dynamique du DTC. Tandis que le système précédent permet de réduire la puissance laser de la source pour éviter la saturation du détecteur, ce circuit ajuste automatiquement le gain du système et soustrait le bruit spatial fixe associé principalement aux variations du courant d'obscurité des éléments photosensibles du détecteur. Tout en restant compatible avec les systèmes actuels à 8 bits, on a obtenu une conversion analogique à numérique équivalente à 14 bits et cela à un taux de 10 MHz. De plus, une plage dynamique de 500:1 en intensité sans saturation du DTC (1000:1 avec saturation) a été mesurée. Ce système a été incorporé à la caméra 3D à volumes de mesure multiples (cf. *Bulletin*, 3(2)).

Nous avons aussi étudié l'utilisation de bicellules avec le contrôleur de galvanomètre de grande précision que nous avons développé pour la caméra à balayage synchronisé. L'utilisation de phototransistors de synchronisation sert à la compensation des erreurs dues au balayage galvanométrique et des erreurs d'alignement. L'emploi de bicellules permet de rendre le système insensible aux variations d'intensité de la source laser tout en augmentant la précision des mesures et la stabilité du contrôleur.

Caméra 3D à fréquence vidéo

J.-A. Beraldin, F. Blais, M. Rioux

Les travaux sur un capteur 3D à fréquence vidéo, entrepris il y a quelques années, ont permis le développement du prototype d'une caméra 3D conforme à la norme industrielle RS-170, appliquée dans la plus grande partie du matériel de traitement vidéo (par exemple les dispositifs de numérisation d'images). Les

premières images seront probablement prêtes au plus tard pendant l'été 89.

L'expérience acquise au fil des ans nous a permis de concevoir les divers composants optiques, mécaniques et électroniques de la caméra et de rédiger leurs spécifications. La caméra est fondée sur la triangulation et utilise la méthode brevetée du balayage synchronisé. Elle comporte les éléments suivants : une source à laser solide, un déflecteur vertical et horizontal, un capteur de position et un circuit générateur du signal RS-170. La caméra est équipée d'une diode laser émettant des signaux de 820 nm de longueur d'onde. On peut faire varier la puissance de la diode laser sur la scène jusqu'à 400 mW. Un miroir polygonal tournant couplé à un moteur c.a. synchrone à hystérésis haute vitesse assure le balayage horizontal de la scène à une fréquence de 15 750 lignes par seconde. La déviation verticale est réalisée par un galvanomètre à compensation qui vibre à 60 Hz. Le circuit et les algorithmes de compensation ont été mis au point dans nos laboratoires. Le capteur de position est formé d'une photodiode à effet latéral réalisée spécialement pour nos besoins, de numériseurs vidéo et d'une unité de calcul qui produit simultanément les données d'intensité et de position au taux de 10×10^6 échantillons pas seconde (voir le *Bulletin*, 3(2)). Ces deux signaux sont combinés aux formes d'ondes de synchronisation appropriées de manière à former deux signaux distincts de type RS-170.

Ce prototype de caméra couvrira un volume de mesure de 5 cm × 5 cm × 5 cm. On vise une résolution verticale de 400 lignes, chacune avec une résolution de 512 pixels. L'exactitude en profondeur réalisable avec l'unité de calcul actuelle variera de 32 à 128 niveaux, selon l'intensité lumineuse reflétée par la scène. Une image complète sera produite à tous les 1/30 de seconde. La fréquence d'image correspond au balayage d'une zone de 750 cm^2 à chaque seconde.

Infographie dynamique

M. Rioux

En collaboration avec l'Université du Québec à Hull, nous avons démarré un projet dans lequel un personnage humain est numérisé puis animé à l'ordinateur. Deux objectifs principaux sont visés, le premier consiste à synthétiser l'expression faciale lors de la parole à partir de quelques enregistrements 3D. Le deuxième consiste à synthétiser le mouvement du sujet à partir d'une acquisition plein pied effectuée sur 360°. Afin d'augmenter le réalisme de la représentation infographique, les acquisitions 3D sont accompagnées des données d'intensité en registre.

Interprétation des images 3D

Procédure heuristique de segmentation

N. Abdelmalek

On a présenté une procédure heuristique de segmentation des images 3D de distance. L'image de distance est segmentée grossièrement en aires convexes, concaves et planes au moyen de l'étiquetage du signe de la courbure à chaque point de la surface. Les rebords de sauts sont ensuite superposés à l'image grossièrement segmentée, ce qui produit une première segmentation de l'image. Les points frontières entre des aires adjacentes sont ensuite étudiés afin d'établir les correspondances appropriées. Un point frontière entre deux aires qui n'est pas sur un rebord de saut appartient nécessairement à un rehaussement ou à une ligne d'arête. Cette condition est détectée par la présence d'une norme locale élevée des résidus d'un plan d'approximation sur une fenêtre entourant le point frontière. On prévoit que cette méthode sera plus rapide que bien des méthodes existantes.

Analyse algébrique des erreurs des courbures de surface et segmentation

N. Abdelmalek

On a décrit une méthode de calcul des courbures de surface d'images 3D de distance fondée sur la géométrie différentielle et sur la théorie des approximations et on a présenté une analyse algébrique des erreurs des courbures calculées. Les limites supérieures des termes d'erreurs de courbure sont obtenus en fonction de la taille de la fenêtre servant au calcul de courbure et en fonction de l'écart-type du bruit. Le calcul de valeurs de seuil pour les courbures calculées est automatique. Les résultats de l'analyse d'erreurs servent à démontrer l'effet du bruit sur les résultats de segmentation à partir d'étiquettes du signe des courbures.

Segmentation d'images de profondeur

P. Boulanger

Le processus de segmentation par classification des courbures moyennes et gaussiennes consiste à grouper des pixels selon des caractéristiques communes telles que l'intensité et la hauteur. Ces regroupements pourront par la suite être symbolisés par un niveau d'interprétation supérieur.

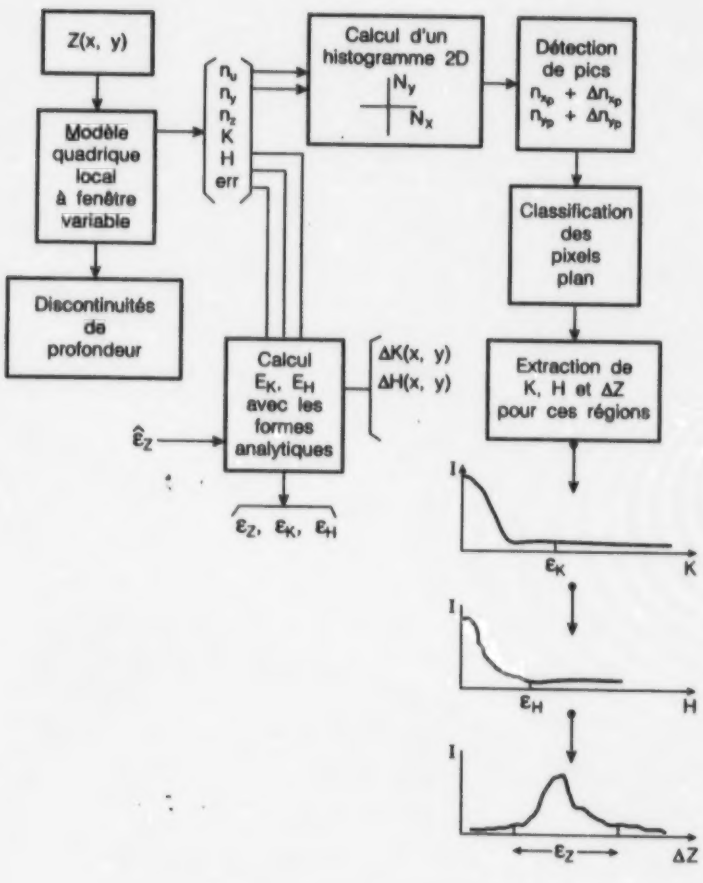
Afin de faciliter le processus d'interprétation des niveaux supérieurs, les critères de qualité

de cette segmentation sont les suivants : invariance au point de vue de l'observateur, robustesse au bruit et description à niveaux multiples

Pour répondre à ces critères, nous avons développé une technique de segmentation d'images de profondeur qui utilise des invariants de surfaces tels que la courbure moyenne (*H*) et la courbure gaussienne (*K*) comme classificateur. La technique consiste à classer en huit types de surfaces les différentes régions de la carte des profondeurs selon les signes de la courbure gaussienne et moyenne.

Plusieurs problèmes sont reliés aux calculs de ces courbures, le plus important étant celui de la sensibilité au bruit. Afin de résoudre ce problème, nous avons développé une technique de régularisation basée sur la méthode de relaxation d'étiquettes. Elle consiste à ne valider une étiquette que si ses voisins immédiats optimisent un certain critère de consistance locale. Une seconde méthode consiste à utiliser des fenêtres quadriques de tailles variables calculant la courbure d'une façon moins locale tout en préservant la résolution des discontinuités de profondeur et d'orientation. Nous pouvons voir à la figure 6 le schéma bloc du programme.

Figure 6. Schéma blocs du module de calcul des paramètres géométriques.



Détection des discontinuités

P. Boulanger

Les discontinuités de profondeur et d'orientation sont des structures essentielles qui doivent être déterminées avant toute autre. Une discontinuité de profondeur est essentiellement une variation abrupte de la profondeur en un point, quant à la discontinuité d'orientation, elle correspond à une variation abrupte de la normale.

La détection de celles-ci est nécessaire afin de limiter les calculs des propriétés géométriques aux régions uniformes. Plusieurs méthodes furent développées pour détecter ces discontinuités, entre autres : passage par zéro du Laplacien et filtre morphologique. Jusqu'à présent, les méthodes morphologiques nous semblent des plus prometteuses.

Développement d'un environnement de travail pour l'analyse d'images de profondeur

P. Boulanger, J.P. Cormier[1]

Au cours de l'année, nous avons développé sur une station de travail graphique (micro VAX II GPX) un environnement de travail permettant d'afficher et de manipuler des images de profondeur.

Nous avons entre autres implémenté les fonctions suivantes : histogramme interactif, affichages : isométriques, ombrés, lignes de contour, modification interactive de la table de «look up», système de zoom, appel de traitement interactif sur les images et interface APL pour la manipulation d'images.

Espace d'échelle pour la courbure

P. Boulanger, M. Cung[2]

Nous avons étudié les propriétés mathématiques de la technique des espaces d'échelle au calcul multi-résolution des courbures moyennes et gaussiennes. Nous avons entre autres étudié l'effet d'un filtrage gaussien sur les paramètres de la courbure en présumant une surface polynomiale d'ordre *n*. Grâce à ces calculs, nous avons pu obtenir des expressions analytiques de ces variations et ainsi comprendre les propriétés de cet espace d'échelle.

[1]Étudiant.

[2]École Polytechnique de Montréal, Montréal (Québec).

Mémoires associatives

E. Porada,[1] M. Rioux, P. Boulanger

Des études théoriques relatives aux mémoires associatives ont été réalisées. Présentement, nous évaluons cette technique pour des scènes 3D. La particularité des algorithmes développés est l'auto-apprentissage des scènes. De plus, il semble que la technique a le potentiel d'être réalisée grâce à des arrangements optiques relativement simples.

Composants photoniques pour l'inspection industrielle, le traitement des données et les capteurs

La photonique est la technologie de la production et de l'utilisation de la lumière dans des systèmes de détection, de diagnostic, de communications et de traitement de l'information. Cette technologie comprend les sources lumineuses, les fibres optiques, ainsi que les instruments optiques et électro-optiques. Les systèmes photoniques offrent de nombreux avantages et possibilités dans une variété de systèmes présentement fondés sur les signaux électriques, à plus forte raison depuis que les dispositifs fondés sur le laser font leurs preuves et que le coût des composants diminue. Certains systèmes à fibres optiques sont à la base même des caractéristiques de performance et de sécurité d'applications majeures comme la station spatiale, l'exploration pétrolière et les projets militaires. La Section photonique et capteurs compte parmi ses activités un programme de recherches continu dans ce domaine.

Développement de la caméra 3D laser sans risque pour l'oeil

M.S. O'Sullivan, P. Maigné, J. Chrostowski

L'accroissement de la rapidité d'acquisition des images dans les systèmes fondés sur le laser découle souvent de l'augmentation de la puissance laser. La sécurité pour l'oeil d'une caméra laser devient un facteur très important à partir d'un certain niveau de puissance. Une des solutions à ce problème de rapidité/puissance laser consiste à faire passer la longueur d'onde de fonctionnement du laser dans la région de 1,5 µm, sans risque pour l'oeil. Les mesures sans danger pour l'oeil sont possibles à 1,5 µm puisque dans cette région, les niveaux de puissance de dommage de l'oeil équivalent à 300 fois les niveaux dommageables dans le visible. Une intensité laser au niveau de l'oeil de 10 mW/cm² un niveau typique des systèmes de télémétrie utilisés présentement, équivaut à seulement 1/10 du seuil de dommage de l'oeil.

On a entrepris il y a deux ans la mise au point du laser et de capteurs de position dans cette région du spectre lumineux. On a réussi à développer un laser à fibres optiques haute puissance et une photodiode à effet latéral au InGaAs. On les intégrera bientôt au capteur laser.

Laser à fibre optique

O'Sullivan, M.S.M.S. O'Sullivan, J. Chrostowski

Une fibre monomode dopée au Er^{3+} fournie par AT&T Bell Laboratories a servi à la fabrication d'un laser continu 1,5 µm à haute puissance de sortie. La figure 7 montre le prototype alimenté par la ligne de 514,5 nm d'un laser Ar^{2+}. On a obtenu une puissance maximale de 56 mW à 300 K, qui passe à 90 mW si le système est refroidi à 77 K.

Photodétecteur de position à 1,5 µm

P. Maigné

Un photodétecteur de position, basé sur l'effet photolatéral, a été conçu, fabriqué et testé. Les échantillons reçus ont une longueur de 1 cm et une largeur de 200 µm. Le design fait intervenir des matériaux semi-conducteurs : le phosphure d'indium et l'arséniure de gallium et d'indium, ce dernier étant sensible à une longueur d'onde de 1,5 µm. Les performances du photodétecteur ont été optimisées en ajustant les paramètres suivants : résolution, linéarité du signal de sortie, sensibilité, et temps de réponse.

Une série de 42 prototypes a été fabriquée sous contrat par RCA Inc. Leurs performances ont été évaluées dans nos laboratoires et jugées très satisfaisantes : résolution de 50 $Å/\sqrt{Hz}$ pour une puissance incidente de 50 µW, signal de sortie linéaire en fonction de la position du faisceau incident (coefficient de linéarité = 0,15) sensibilité uniforme et 0,75 A/W tout au long du photodétecteur et enfin fréquence de réponse de 7 MHz. Les propriétés électriques et de structure ont également été caractérisées. Enfin, une série de détecteurs opérationnels fut reçu à la fin du mois de mars 1989.

Traitement des signaux optiques et mélange d'ondes

S.A. Boothroyd, J. Chrostowski, M.S. O'Sullivan, N. Peereboom,[2] L. Chan[2]

Les systèmes modernes dans les secteurs du radar, des télécommunications, du sonar, de la

[1] Adjoint temporaire.
[2] Travailleur invité.

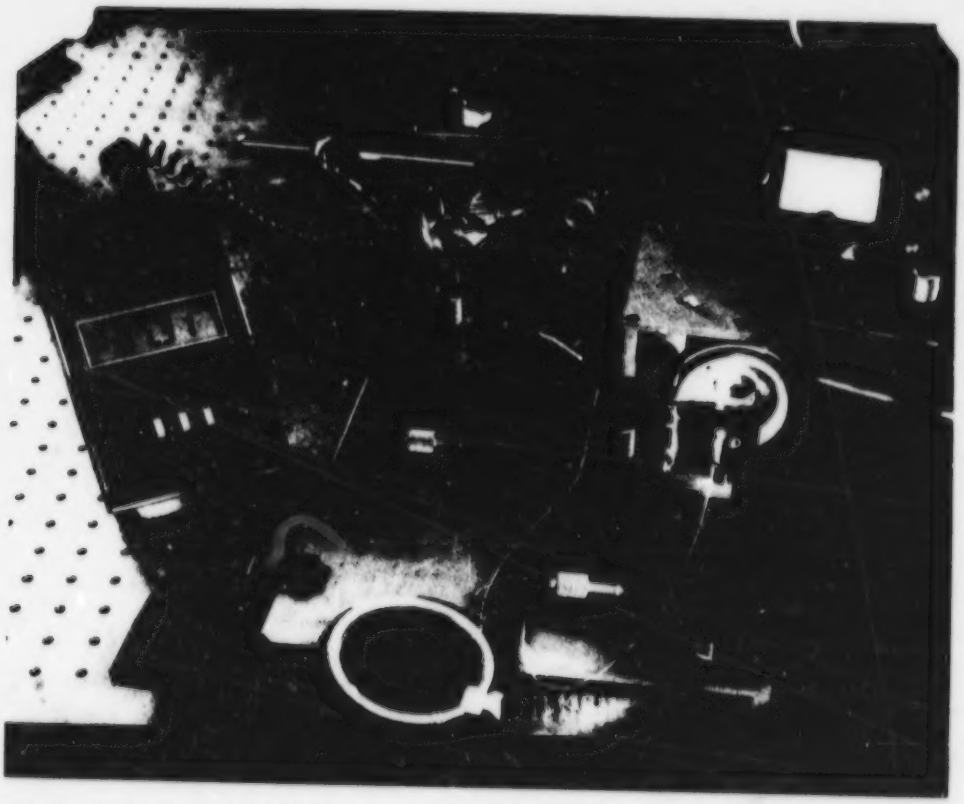


Figure 7. Prototype du laser à fibre à 1,5 µm.

radioastronomie et de la robotique font un usage considérable des méthodes complexes de traitement de signaux. L'analyse multivoie, en particulier le traitement espace–temps des signaux, améliore la vitesse et la performance de ces systèmes. Une caractéristique inhérente au traitement des signaux optiques est le parallélisme de deux grandes bases de données 2D en temps réel. En raison de la facilité avec laquelle les processeurs optiques effectuent certaines fonctions mathématiques intégrales, ils sont particulièrement bien adaptés au traitement des images et à la technologie micro-ondes, bien que dans certains cas les ordinateurs numériques et les dispositifs analogiques électroniques comportent encore les meilleures caractéristiques de performance.

Les systèmes électro-optiques comptent des applications bien distinctes dans deux groupes de tâches. La première est celle des problèmes dont la résolution est difficile si l'on n'utilise que des méthodes électroniques, en raison de la grande quantité de données et de la vitesse de traitement nécessaire. Les processeurs optiques sont très utiles dans ce type de problèmes à haute vitesse et à fort volume; en fait, la seule limite est le débit entrée–sortie des données plutôt que la vitesse interne des processeurs. Les problèmes du deuxième type sont ceux qui peuvent être résolus autant par les méthodes électroniques traditionnelles que par les méthodes optiques, mais qui comportent des exigences rigoureuses en matière de simplicité, de coûts élevés et de compacité. Divers systèmes électro-optiques, en particulier des corrélateurs et analyseurs spectraux, ont été développés et sont présentement utilisés.

On s'est intéressé récemment au traitement non linéaires des signaux optiques, qui offrent un potentiel évident en amplification des images, en conjugaison de phase et pour les mémoires associatives. L'interaction non linéaire de la lumière laser dans une gamme étendue de supports permet la production de nouveaux faisceaux, le transfert entre faisceaux et le traitement de signaux optiques numériques et analogiques. On étudie le mélange entre deux ou quatre ondes dans un milieu fortement non linéaire, saturable et photo-réfractif.

On a étudié le mélange entre deux ondes dans du verre dopé aux teintures fluorescéine et acridine, et on a proposé un nouveau démodulateur de phase. L'intensité de l'interaction du

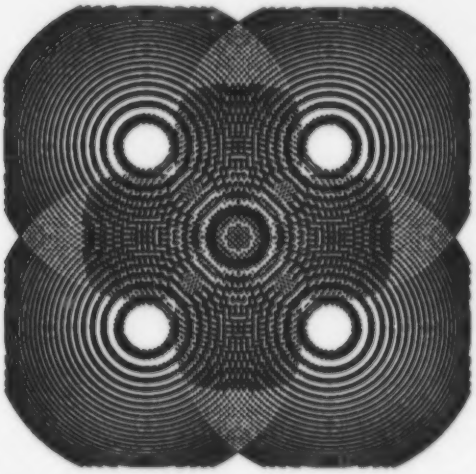


Figure 8. Photo de la zone de Fresnel pour un signal de 0,633 µm de longueur d'onde, les points se trouvant à 3,16 m de l'hologramme.

mélange entre deux ondes dans les absorbeurs saturables dépend de l'écart de fréquence entre les deux faisceaux. On a envisagé une méthode d'imagerie 3D de fronts d'ondes arbitraires par laquelle l'information de profondeur d'une scène passerait par le mélange de deux ondes dans une structure à impulsion comprimée, de manière à produire une variation d'intensité. Les intensités de saturation des verres non linéaires étudiés sont faibles et ces substances sont de fabrication facile, de sorte qu'il est possible de produire des systèmes à grande ouverture numérique exploités dans le visible. La conjugaison de phase par mélange entre quatre ondes (*Bulletin*, 3(2)) est une méthode intéressante pour le traitement parallèle des images et permet de réaliser, entre autres, des fonctions de corrélation et de soustraction des images, ainsi que de convolution. Ces travaux sont en cours d'extension vers les longueurs d'onde dans l'infrarouge proche, grâce à l'effet de photoréfraction dans l'arséniure de gallium et le phosphure de gallium.

Un laser à saphir dopé au titane a été mis au point et servira de source accordable commode dans l'infrarouge proche, de manière à faciliter les expériences de mélange non linéaire et à servir de source lumineuse pour l'étude d'autres composants photoniques.

Les composants optiques holographiques jouent un rôle important dans le développement de divers systèmes optiques. Ils sont utiles plus particulièrement pour les interconnexions dans les VLSI et l'adressage des modulateurs optiques spatiaux. Une étude préliminaire indique que les hologrammes produits par ordinateurs et inscrits sur le substrat de silicium par écriture laser directe devraient être adéquats à titre d'interconnexions préprogrammées pour les filtres adaptés et les mémoires associatives. La figure 8 montre un exemple d'hologramme produit par ordinateur.

Guides d'ondes optiques pour les capteurs et les télécommunications optiques

J. Chrostowski, W. Jiang,[1] S. Yuen,[1] M. Wartak[1]

On a poursuivi les travaux sur les divers guides d'ondes en collaboration avec l'Institut de recherches sur les télécommunications de l'Ontario (TRIO), l'Université d'Ottawa et l'Université Carleton. Le projet vise le développement de réseaux photoniques ultra-rapides avec fonction d'auto-acheminement. Les travaux sur les interconnexions optiques sur silicium compatibles avec les circuits électroniques VLSI ont surtout porté cette année sur une nouvelle structure de guide d'ondes multicouche très intéressante : ARROW (guide d'ondes optiques réflecteur anti-résonant) (figure 9). Elle servira de base aux corrélateurs et aux commutateurs dans l'implantation future des algorithmes d'auto-acheminement. Les travaux préliminaires ont débuté sur l'évaluation de matériaux organiques à cette fin.

Détecteurs du champ électrique et de haute pression

J. Chrostowski, W. Bock,[1] H. Kopola,[1] C. Bing[1]

On a poursuivi les travaux (*Bulletin*, 3(1)) sur la prochaine génération des sondes photoniques de détection des champs électriques transitoires. Ces projets sont réalisés en collaboration avec le Département de génie électrique de l'Université d'Ottawa et la Division d'avionique de la Compagnie Marconi du Canada.

La collaboration avec l'Université du Québec à Hull sur la mise au point du capteur de haute pression (1000 atm) a permis de produire le premier prototype d'un passe-fibre optique vers la chambre de haute pression. Cet élément est le composant le plus critique du groupe de capteurs dans un environnement de ce type. Il fait présentement l'objet de tests détaillés par le Laboratoire des hautes pressions de l'Université du Québec à Hull et est en instance de brevet.

Caractérisation de la structure des super-réseaux par diffraction des rayons X

P. Maigné

Les super-réseaux font partie des matériaux prometteurs pour le traitement optique de l'information. Ils sont formés de la superposition régulière de matériaux semiconducteurs dont

[1] Travailleur invité.

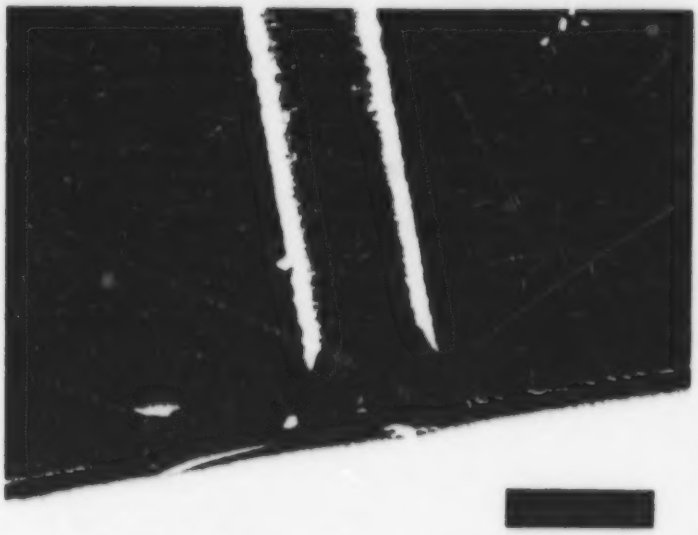


Figure 9. Photographie au microscope électronique du guide d'ondes ARROW.

les épaisseurs sont de l'ordre de 10 nm. Les propriétés optoélectroniques sont alors fonction des paramètres de structures. Grâce à la diffraction des rayons X et au développement de programmes de modélisation nous avons, en collaboration avec le laboratoire de microstructures, étudié les effets de l'épaisseur croissante de super-réseaux InGaAs/GaAs sur la qualité cristalline et donc sur les performances de ces matériaux. Nous avons été en mesure de déterminer plus précisément les mécanismes de relaxation au voisinage de l'épaisseur critique et de montrer que l'épaisseur critique en-dessous de laquelle la qualité cristallographique de la structure est excellente, peut être repoussée vers des limites supérieures en utilisant des plaquettes découpées dans une direction cristallographique particulière.

Installation de polissage de matériaux exotiques

J. Chrostowski, A. Dufour

Cette installation, qui existe depuis trois ans, est formée de matériel de polissage «Logitech» polyvalent et de très grande qualité qui permet le polissage de cristaux, de barres laser et de fibres de diverses textures et formes. Elle se trouve dans une chambre blanche munie d'une hotte d'évacuation qui est nécessaire notamment pour la préparation de pastilles minces et ultraminces de semiconducteurs. Les principaux secteurs d'intérêt sont les barres laser, les cristaux électro-optiques et les composants à fibres optiques. Parmi les travaux réalisés l'an dernier, on compte le polissage de saphir dopé au titane, de germanate de bismuth, de niobate de lithium pour l'Université d'Ottawa, et de guides d'ondes au silicium pour l'Institut de recherches sur les télécommunications de l'Ontario.

Mémoires récents

Publiés

Abdelmalek, N.N. A global system for matching 3-D range data objects. Proceedings of Vision Interface '88, Edmonton (Alb.). 6–10 juin 1988. pp. 129–134. CNRC 29848. *Réimprimé sous le titre* Experimental results for matching 3-D range data objects based on a statistical approach, *dans* «Computer Vision and Shape Recognition», Series in Computer Science, Vol. 14. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore. 1989. pp. 371–395. CNRC 30407.

Beaulieu, J.M., et Boulanger, P. Segmentation of range images by piecewise approximation with shape constraints. Proceedings of Vision Interface '88, Edmonton (Alb.). 6–10 juin 1988. pp. 19–24. CNRC 29532. *Réimprimé dans* «Computer Vision and Shape Recognition», Series in Computer Science, Vol. 14. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore. 1989. pp. 87–98. CNRC 30405.

Beraldin, J.A., et Steenaart, W. Overflow analysis of a fixed-point implementation of the Goertzel algorithm. IEEE Trans. Circuits Syst. CS-36(2): 322–324; 1989.

Beraldin, J.A., Steenaart, W., et Aboulnasr, T. Efficient one-dimensional systolic array realization of the discrete Fourier transform. IEEE Trans. Circuits Syst. CS-36(1): 95–100; 1989.

Beraldin, J.-A., et Blais, F. Extension of the dynamic range of active laser range finders. Proceedings of SPIE, Optics, Illumination and Image Sensing for Machine Vision III. Cambridge (MA). 6–11 novembre 1988. Vol. 1005. pp. 164–168. CNRC 29483.

Blais, F., Rioux, M., et Beraldin, J.A. Practical considerations for a design of a high precision 3-D laser scanner system. Proceedings of SPIE, Vol. 959, 28–29 juin 1988. pp. 225–246. CNRC 29202.

Blais, F., Rioux, M., Domey, J., et Beraldin, J.A. A very compact real time 3-D sensor for mobile robot applications. Proceedings of SPIE, Vol. 1007, Mobile Robots III, Cambridge (MA). 6–11 novembre 1988. pp. 330–338. CNRC 29484.

Bock, W. J., et Chrostowski, J. High-pressure fibre-optic leadthrough system. J. Phys. E: Sci. Instrum. 21: 839–841; 1988. CNRC 28819. *Réimprimé dans* Eng. Opt. Nov.: 509–510; 1988. CNRC 30665.

Boothroyd, S.A., Chrostowski, J., et O'Sullivan, M.S. Two-wave mixing in saturable absorbers and ranging applications. Topical Meeting on Optical Properties of Materials, 1988 Technical Digest

Series, Vol. 9 (Optical Society of America, Washington (DC), 1988). pp. 73–76. CNRC 29140.

Boothroyd, S.A., Chrostowski, J., et O'Sullivan, M.S. Two-wavemixing via phase and absorption gratings in saturable absorbers. J. Opt. Soc. Am. B, 4(6): 766–771; 1989. CNRC 29851.

Boulanger, P. Label relaxation technique for stable estimation of a topographic primal sketch. Proceedings of Vision Interface '88, Edmonton (Alb.). 6–10 juin 1988. pp. 158–162. CNRC 29533. *Réimprimé dans* «Computer Vision and Shape Recognition», Series in Computer Science, Vol. 14. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore. 1989. pp. 417–428. CNRC 30408.

Boulanger, P., et Cohen, P. Stable estimation of a topographic primal sketch for range image interpretation. IAPR Workshop on Computer Vision, Tokyo, Japon. 12–14 octobre 1988. pp. 436–440. CNRC 29536.

Boulanger, P., Rioux, M., Taylor, J., et Livingstone, F. Automatic replication and recording of museum artifacts. Proceedings of the 12th International Symposium on the Conservation and Restoration of Cultural Property, Tokyo, Japon. 29 septembre – 1er octobre 1988. pp. 131–147. CNRC 29534.

Domey, J., et Rioux, J. Three-dimensional vision sensors and their potential applications in mining automation. Proceedings of the 3rd Canadian Symposium on Mining Automation, Montréal (Qué.). 15–16 septembre 1988. pp. 187–193. CNRC 29321.

Domey, J., et Rioux, M. Three-dimensional vision sensors for automation. Proceedings of the 1st IFAC Workshop on Advances in Automation of Underground Hard Rock Mining, Estérel (Qué.). 12–14 septembre 1988. Section 2, pp. 1–13. CNRC 29432.

Domey, J., Rioux, M., et Blais, F. 3-D sensing for robot vision. Proceedings of NATO Advanced Research Workshop on Sensory Robotics for the Handling of Limp Materials, Il Ciocco, Italie. 16–22 octobre 1988. CNRC 29409.

Hilson, D., Shewchenko, N., Boulanger, P., Newman, J., et Gallup, B. Experimentation in the averaging and manufacturing of human body shape data. Proceedings of the Fifth International Symposium on Surface Topography and Body Deformity, Vienne, Autriche. 29 septembre – 1er octobre 1988. CNRC 29535.

O'Sullivan, M.S., Chrostowski, J., et Desurvire, E. High power narrow linewidth erbium-doped fiber laser. Proceedings of Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO), Baltimore (MA). 24–28 avril 1989. CNRC 30045.

O'Sullivan, M.S., Chrostowski, J., Desurvire, E., et Simpson, J.R. High power narrow linewidth Er^{3+}-doped fiber laser. Opt. Lett. 14(9): 438–440; 1989. CNRC 30183.

Rioux, M., et Cournoyer, L. Les fichiers d'images tridimensionnelles du CNRC/The NRCC Three-dimensional Image Data Files. Juin/June 1988. 114 pages. CNRC 29077.

Présentés

Boulanger, P. Knowledge representation for range image analysis. Vision Interface '88, Edmonton (Alb.). 6–10 juin 1988. (Invité.)

Chan, L. Optical holographic interconnects for VLSI. Photonic Networks, A Forefront of Telecommunications Seminar, Ottawa (Ont.). 8 novembre 1988.

Chrostowski, J. Photonic devices. Photonic Networks, A Forefront of Telecommunications Seminar, Ottawa (Ont.). 8 novembre 1988.

Domey, J. Activities of the Photonics and Sensors Section. CRNC/DGE Association de la Science, 14 juin 1988.

Domey, J., et Rioux, M. Activités de la section Photonique et capteurs du CNRC. Institut national d'optique, Ste-Foy (Qué.) 12 mai 1988.

Fontaine, M., et Chrostowski, J. Étude des propriétés optiques des multi-structures de InP/InGaAs à $\lambda = 1.3\,\mu m$. ACP Congress, Montréal (Qué.) 20–22 juin 1988.

Jiang, W. Self routing photonic networks. Photonic Networks, A Forefront of Telecommunications Seminar, Ottawa (Ont.). 8 novembre 1988.

Rioux, M. 3-D sensors. Vision Interface '88, Cours d'instructions, Edmonton (Alb.). 6–10 juin 1988.

Rioux, M. Industrial applications of a 3-D laser scanner. 1988 Joint CAP/APS Congress, Montréal, Quebec. 22 juin 1988. (Invité.)

Brevets

Blais, F. Galvanometric optical scanning system having synchronization photodetectors. Brevet É.-U. 4,800,271. 24 janvier 1989.

Blais, F. Peak detector and imaging system. Brevet É.-U. 4,819,197. 4 avril 1989.

Rioux, M. Synchronous optical scanning apparatus. Brevet É.-U. 4,787,748. 29 novembre 1988.

Rioux, M. Three dimensional imaging method and device. Brevet Can. 1,245,889. 5 décembre 1988.

Section de robotique et automatisation

Chef — M.A. Barakat

Introduction

La Section de robotique et automatisation du Laboratoire des systèmes intelligents est une nouvelle section qui existe depuis moins de trois ans. Elle fait partie de l'Institut canadien de technologie industrielle à Winnipeg au Manitoba.

La Section poursuit des travaux de recherche intéressant directement l'industrie, en collaboration avec des partenaires du secteur privé et des universités. Ces recherches portent surtout sur les secteurs suivants :

- robotique : travaux de recherche et développement appliqués portant sur des systèmes robotiques de pointe capables de s'adapter aux incertitudes de leur milieu de travail
- automatisation industrielle : travaux de recherche et développement appliqués sur la production et les essais assistés par ordinateur
- systèmes à base de connaissances : développement de systèmes à base de connaissances dans les domaines qui intéressent nos partenaires industriels

Ces travaux de recherche portent sur des secteurs industriels comme, par exemple, la fabrication, le traitement, l'automatisation des services de santé et l'exploitation des ressources. Les projets de la Section font appel au savoir-faire d'experts issus du Laboratoire des systèmes intelligents, d'autres Laboratoires de la Division de génie électrique et d'autres divisions du CNRC.

Robotique

Système expert de programmation hors-ligne pour robot peintre

P. Orban, G.D. Sawatzky, K.A. Miskiewicz

Grâce aux cellules de peinture robotisées, les humains ne sont plus astreintes à des tâches fastidieuses — et peut-être même dangereuses — et on est assuré d'un travail de qualité uniforme. Parmi les défis auxquels fait face le concepteur d'un tel système et, éventuellement, l'utilisateur, on compte la création de programmes efficaces pour le robot. Le programme du robot qui actionne l'ajutage de vaporisation doit faire preuve du même savoir-faire qu'un peintre humain : connaissance de la surface à peindre, connaissance de la peinture et des caractéristiques du pistolet et des méthodes de peinture adaptées aux surfaces irrégulières comme les coins, les rebords, etc.

La méthode la plus simple de programmation en peinture robotisée est d'apprendre au robot la procédure par émulation de peintres humains. Cette méthode compte toutefois un problème majeur : elle n'est pas avantageuse du point de vue des coûts pour les travaux à faible volume. La meilleure manière de produire et de vérifier les programmes de peinture robotisée est la programmation hors-ligne.

Vadeko International Inc. et la Section de robotique et automatisation travaillent conjointement à un projet visant l'automatisation de la programmation du robot peintre. Ce projet vise la mise en place du cadre d'un système de programmation pour cellule de peinture robotisée assistée par ordinateur. Ce système est conçu comme un ensemble de modules qui partagent une base de données centrale. Certains des modules se trouvent déjà au moins partiellement sur le marché, tandis que d'autres nécessiteront des travaux considérables de recherche et développement. Au cours de la première phase du projet, les travaux ont surtout porté sur deux modules du système : le générateur de trajectoires et le simulateur du dépôt de peinture.

Une étude exhaustive a été réalisée sur la pertinence du système de CAO/FAO Unigraphics de McDonnell Douglas et du système de simulateur robotique en ce qui a trait à leur intégration au système de programmation de peinture. Les travaux ont été fondés sur plusieurs cas réels à titre d'exemples de programmation pour les systèmes de McDonnell Douglas.

En ce qui a trait à la simulation du dépôt de peinture, la première version d'un programme d'analyse par éléments finis a été produite et a fait l'objet d'une démonstration. La modélisation du jet de peinture découle d'expériences. Le modèle décrit la distribution de la peinture sous forme analytique et le simulateur du dépôt de peinture utilise ce modèle. Une première version d'un programme visualisant les résultats du dépôt de peinture a été produite sur Mac II et on en a fait la démonstration. La figure 1 montre le résultat de la simulation.

Figure 1. Sortie de la simulation du dépôt de peinture.

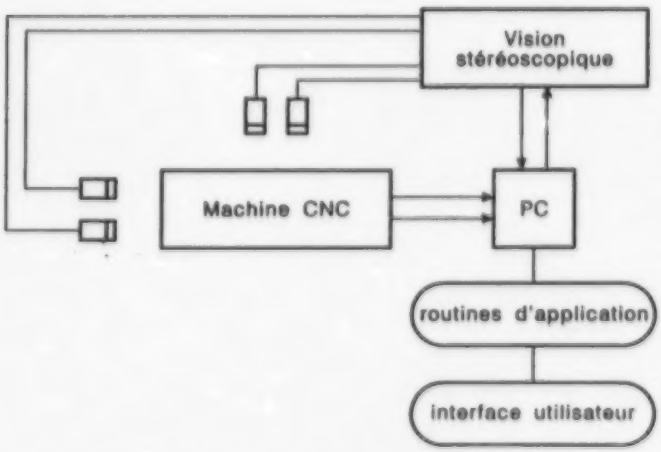
Automatisation industrielle

Système automatisé de pointe pour l'inspection des surfaces

S. El-Hakim

Ce projet visait le développement d'un système de traitement automatisé de pointe pour l'inspection des surfaces. Il a été mené à terme en août 1989. On a développé un système prototype comportant divers outils. Ce système peut automatiquement détecter les défauts sur l'image de la surface d'un objet, les identifier et leur assigner un degré de gravité. L'un des objectifs de départ était la mise au point d'une fonction d'acceptation ou de rejet automatique de l'objet inspecté. Cette partie du projet n'a pas été réalisée en raison des carences des connaissances quantitatives sur la relation entre la taille et la forme de l'image d'un défaut et le défaut lui-même. Une étude financée par le PARI est présentement en cours et vise à comprendre ce phénomène et l'effet des divers paramètres comme la configuration de la source lumineuse. Une fois cette étape franchie, on pourra évaluer plus précisément les défauts.

Figure 2. Configuration du laminoir CNC et du système de vision.



Système d'inspection dimensionnelle monté sur machine — Application de la vision stéréoscopique

S. El-Hakim

Ce projet vise à développer un système d'inspection compatible avec les systèmes de CAO et permettant l'inspection sans contact lors des étapes critiques du processus de fabrication. On prévoit que le système de vision stéréoscopique inspectera les pièces produites par des machines à commande numérique automatisée (CNC) pendant que ces pièces sont encore dans la machine. Il servira aussi à contrôler régulièrement les variations de la machine et à apporter les correctifs nécessaires si la machine dépasse la limite acceptable.

La figure 2 est un schéma fonctionnel simplifié de la structure de base de la machine à commande numérique automatisée (CNC) et du système de vision. La commande est réalisée par un programme qui tourne continuellement sur un ordinateur individuel, reçoit des signaux provenant de la machine et les transfère au système de vision, reçoit les coordonnées 3D mesurées par le système de vision et appelle la routine d'application appropriée; il reçoit aussi les lectures de la machine et les compare aux mesures du système de vision afin de détecter les variations de la machine. On obtient une exactitude dans le plan *XY* de 0,11 mm en *Y* et 0,16 en *X*, avec reproductibilité de 0,004 mm en *Y* et 0,013 en *X* sur un volume de 40 cm × 40 cm × 40 cm. L'exactitude et la reproductibilité en *Z* (profondeur) ne sont pas aussi avantageuses en raison de la géométrie moins avantageuse et des limites de la profondeur de champ. Toutefois, on peut corriger ce défaut en installant deux caméras supplémentaires perpendiculaires à la première pour contrôler la coordonnée en *Z*. On obtient ainsi non seulement des mesures très précises, mais aussi une meilleure profondeur de mesure.

Le système a été vérifié dans un environnement de laboratoire et dans l'atelier de l'ICTI. Il nous reste à mettre au point les liaisons de communication entre les éléments du système, ainsi qu'une partie de l'interface utilisateur et du logiciel d'application.

Système de mesure à vision 3D et comparateur

S. El-Hakim, G. Taylor,[1] P. Chartier, G. The, C.J. Wu

L'étape de l'inspection est à la base du processus de remise en état des moteurs à réaction d'aéronefs; c'est aussi celle qui nécessite le plus de main-d'oeuvre. Au cours des trois dernières décennies, la forme adoptée pour ces inspections a très peu changé, la mesure dimensionnelle étant en général réalisée par des moyens mécaniques. Toutefois, les progrès récents de la technologie informatique et des systèmes de vision artificielle semblent ouvrir la voie à un système intelligent et peu coûteux de mesure, dont l'exactitude de mesure sera de 25 µm sur un objet de 300 mm de diamètre.

Les travaux de réparation et de remise en état des moteurs à réaction constituent un processus spécifique, qui diffère souvent des méthodes de fabrication originales. Le calendrier des modifications et la méthode de réparation détaillée dépendent étroitement de l'état de chaque pièce. Par exemple, la pièce en cours de réparation peut comporter une surface ou un point de référence endommagé. Dans ce cas, les travaux de réparation ne seront, en principe, réalisés au point de référence que si les autres zones se situent dans les limites de tolérance opérationnelles. Toutefois, en cas d'endommagement de la surface ou du point de référence, il est difficile de déterminer la meilleure procédure de réparation pour réduire le plus possible le travail d'usinage tout en évitant le recours à des mesures et calculs élaborés. Qui plus est, il est souvent plus facile de demander une remise en état que de réaliser une inspection, ce qui entraîne des dépenses inutiles et une longue période d'immobilisation.

Le système projeté comporte quatre parties. Le sous-système de vision stéréoscopique est une application de la photogrammétrie courte distance avec une seule caméra. L'objet est placé sur une plate-forme spécialement conçue, qui porte des points permanents d'étalonnage de la caméra. Il est possible de prendre des images multiples (selon la configuration établie) et on peut implanter une fonction de définition automatique de zone pour améliorer l'exactitude des mesures. Le comparateur d'images compare l'image des pièces à remettre en état à l'image standard mémorisée dans la bibliothèque. Les dimensions non critiques seront déduites à partir de la pièce standard; les zones dont l'écart dimensionnel dépasse les spécifications seront indiquées. L'algorithme d'optimisation utilisera les spécifications du fabricant, l'expérience des superviseurs et des machinistes, les données mesurées et les résultats du comparateur d'images afin de recommander les meilleures stratégies de remise en état. Le programme de l'interface utilisateur intégrera tous les sous-systèmes; le système sera donc d'utilisation facile. Une option de mesure manuelle sera aussi disponible, ce qui permettra de réaliser des mesures spéciales.

[1] Standard Aero Ltd., Winnipeg (Manitoba).

Siège orthopédique personnalisé

P. Orban, M. Yeung, S. El-Hakim

Plusieurs maladies, blessures ou difformités congénitales peuvent nécessiter le recours à un siège spécial, adapté spécifiquement aux besoins de l'individu. La plupart des sièges spéciaux sont à toutes fins pratiques fabriqués à la main pour chaque personne, une méthode de fabrication coûteuse et laborieuse.

Les systèmes commerciaux de sièges modulaires, comme ceux fabriqués par Otto Bock Orthopedic Industry of Canada Ltd., ont réduit ces problèmes, mais ils ne conviennent pas à toutes les personnes. Cette entreprise a donc mis au point un système exclusif de production de coussins moulants personnalisés pour les clients qui ont des besoins très particuliers.

Ce système passe par la formation sous vide d'un coussin moulant à partir d'un positif anatomique du client. Le positif est un moulage en plâtre présentement produit manuellement à partir de contours obtenus au moyen de sacs de petites billes qu'on cale autour du client en position assise. Le principal obstacle à une plus grande disponibilité de cette méthode et donc à la pénétration sur le marché du système de conception personnalisé, est la procédure actuelle de production du positif anatomique.

Otto Bock of Canada et l'ICTI collaborent à la conception et à l'implantation d'un système informatisé qui faciliterait et accélérerait la conception et la production de moules positifs 3D destinés aux systèmes de sièges orthopédiques spécialisés et en accroîtrait le rendement économique. Les questions à étudier sont l'acquisition de la forme 3D au moyen d'un système de vision stéréoscopique et le traitement des données pour la production du moule positif.

Automatisation des élévateurs à grains

G.B. Neilson, H. Liontas, J.L. Allston

Les systèmes informatisés sont utilisés depuis bon nombre d'année pour les tâches de soutien du fonctionnement des élévateurs à grains ruraux. La plupart des entreprises du secteur

céréalier utilisent une forme quelconque d'automatisation des élévateurs. Au cours des dernières années, à mesure que les premiers systèmes deviennent désuets et d'entretien difficile et avec l'accroissement des exigences de fonctionnement, les fabricants de systèmes informatiques ont reconnu le fort potentiel du marché de l'industrie céréalière et ont consacré des ressources à la résolution des problèmes propres à cette industrie.

Les premiers systèmes ont été mis au point au moyen de plates-formes existantes qui effectuent plusieurs des tâches nécessaires en comptabilité et en tenue d'inventaire. Ces plates-formes ne sont plus adaptées à l'environnement des élévateurs à grains et comportent diverses contraintes techniques qui réduisent leur efficacité. Les progrès de la technologie des capteurs et de la -2méthodologie des -2opérations ont permis d'accroître le niveau -2d'automatisation de chaque élévateur, en vue de -2l'objectif final, la -2standardisation et l-2'efficacité du traitement des céréales dans tout le pays.

Les objectifs spécifiques du projet sont l'identification d'un système informatique cible qui convienne aux contraintes économiques et environnementales des élévateurs à grain ruraux, l'étude de plusieurs environnements de développement distincts (par exemple les 4GL) dans lesquels on pourra adapter au système cible une application existante de gestion d'élévateur à grains, étudier les autres stratégies de communications, et adapter le conditionnement physique de ce système cible aux conditions environnementales spécifiques.

À l'heure actuelle, on étudie la possibilité d'utiliser Oracle comme environnement de développement grâce à une conversion d'échantillonnage. On a aussi entrepris une étude environnementale et une étude sur les options de communications.

Système de contrôle continu des émissions acoustiques

G.B. Neilson, K.A. Miskiewicz

Le contrôle des émissions acoustiques constitue une méthode d'essais non destructifs utilisable sur les grandes structures métalliques comme les ponts de chemin de fer, les pipelines et les aéronefs. Puisque ces structures subissent des charges oligocycliques, la fatigue, la cause la plus fréquente des défaillances structurelles, se produit à des points d'effort spécifiques. La fatigue est en fait un phénomène de fissuration et est accompagnée de signaux d'émission acoustique (EA) qui varient avec l'élargissement de la fissure.

N. Bassim, vice-président et directeur technique de Monac Acoustic Monitoring International Inc., a obtenu un brevet pour sa méthode de contrôle continu des structures qui exploite un système d'acquisition hiérarchique des données et détermine, par des méthodes de traitement des signaux et de reconnaissances des formes, le degré d'endommagement de la structure et donc sa durée de vie utile restante. L'objectif spécifique de ce projet est la production de la première version commerciale d'un système de contrôle continu des émissions acoustiques.

Le système en cours de développement à l'heure actuelle (fig. 3) est formé de capteurs (cristaux piézoélectriques ou accéléromètres) reliés à des unités de traitement éloignées appelées unités de surveillance (US), qui distinguent entre les événements EA valides et le bruit aléatoire similaire à des événements et qui indiquent le niveau d'endommagement, afin de déterminer les tendances en fonction de paramètres spécifiques. Ces US sont reliées à une unité de commande (UC) centrale via un réseau de communications qui sert au contrôle de l'activité globale et à identifier les situations d'alarme.

La principale contribution du CNRC touchera au développement du logiciel et l'implantation d'une simulation du système de contrôle des EA. Ces travaux nécessitent l'émulation des fonctions matérielles des US (détection des paramètres en temps réel), l'implantation de l'analyse dans le domaine des fréquences, le développement du processus d'induction pour la reconnaissance des formes et le développement de routines d'analyse statistique pour les algorithmes de calcul des tendances.

Le système de simulation peut réaliser à l'heure actuelle la plupart des fonctions d'analyse des signaux et comporte le code approprié aux instructions de sélection des données et d'affichage. L'adaptation du programme à l'unité de commande fondée sur PC et l'implantation de l'algorithme d'induction afin de préciser les caractéristiques des paramètres indicatifs pour la discrimination des signaux constituent les prochains objectifs. MONAC termine présentement la fabrication de trois autres prototypes des unités de surveillance.

Systèmes à véhicule télécommandé automatisé

P. Orban, G.D. Sawatzky, M. Yeung

Le secteur industriel se tourne de plus en plus vers les systèmes à véhicule télécommandé automatisé (VTA) pour les travaux de manipulation des matériaux. Pour répondre à ce

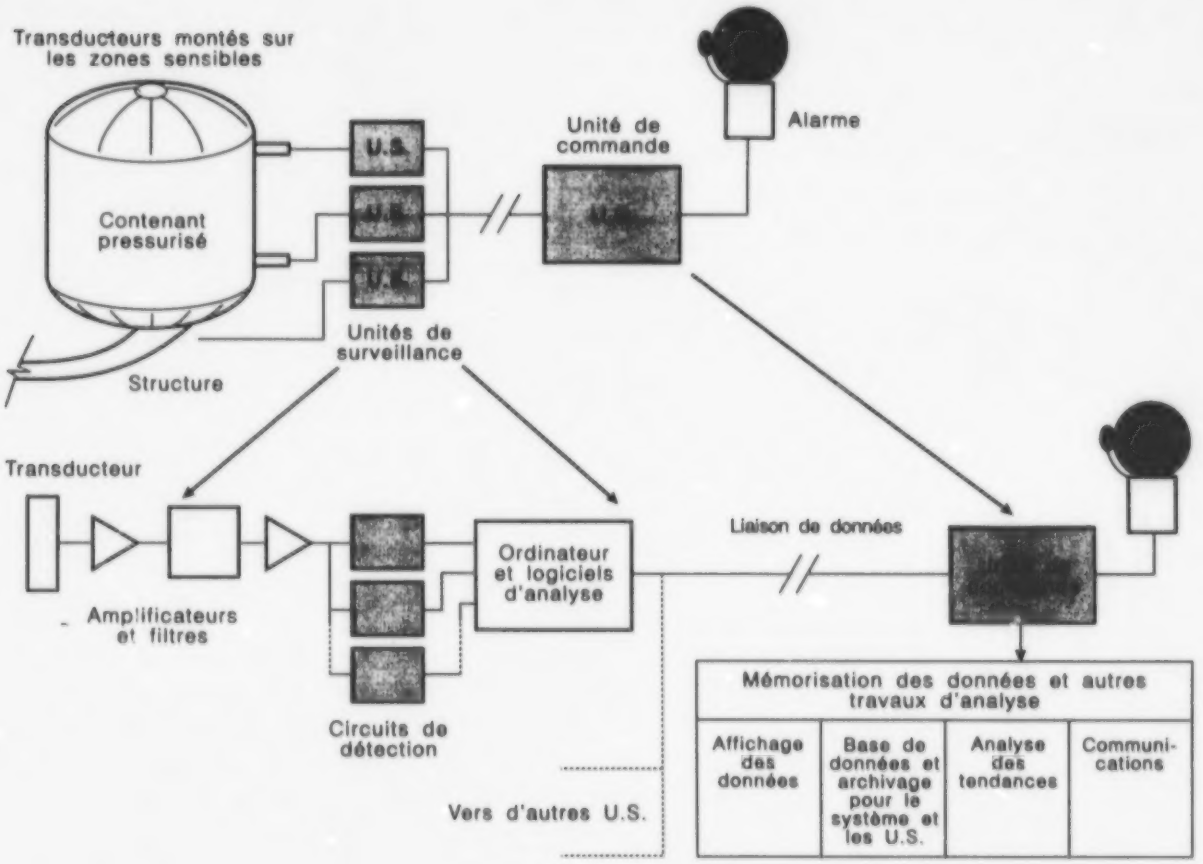


Figure 3. Système de contrôle continu des émissions acoustiques de MONAC.

besoin, les entreprises de fabrication de VTA amélioreront constamment leurs produits de manière à rester concurrentielles et à mettre à la disposition de l'industrie les solutions les plus flexibles, efficaces et sécuritaires en manipulation des matériaux. Ce projet, auquel participe FMC of Canada Limited, étudie des méthodes visant l'amélioration de la performance et des services assurés par les systèmes à VTA.

On envisage des améliorations dans les secteurs suivants : le concept de base du contrôleur du système, un progiciel de communications pour assurer l'intégration des VTA dans un système de commande hiérarchisé, l'accroissement de l'«intelligence» locale du véhicule grâce à de puissants ordinateurs et capteurs de bord, ainsi que l'amélioration des systèmes de communications par le recours à un réseau RF entre le véhicule et la station terrestre, et à un système de guidage sans fil du véhicule. De plus, puisque les systèmes à VTA sont souvent considérés comme des systèmes techniques élaborés et non comme des éléments courants, on pourrait encore améliorer la méthodologie de conception des systèmes à VTA de manière à en réduire les coûts de développement.

Cellule centralisée de fabrication automatisée

M. Yeung

Une cellule centralisée de fabrication automatisée (CCFA) (figure 4) est une cellule de commande centralisée pour le matériel compatible avec la commande automatisée. Une CCFA mature et bien développée gérera le fonctionnement de l'installation de fabrication de l'ICTI. La CCFA est destinée à accroître la productivité, en conjonction avec la technologie de la robotique et des systèmes experts.

On a identifié six étages aux fins du plan de développement, chaque étage constituant un module indépendant, ce qui facilite le maintien

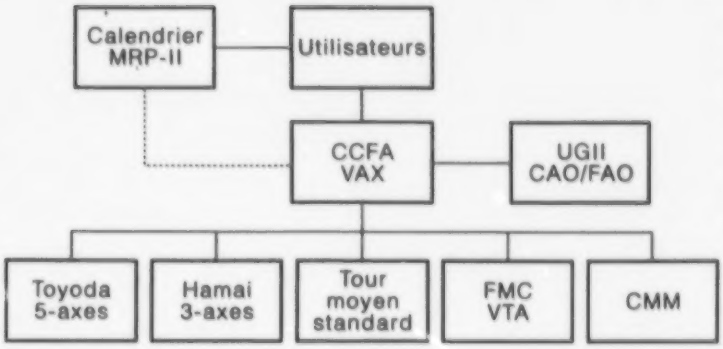


Figure 4. Structure complète de la CCFA dans l'atelier de l'ICTI.

du fonctionnement normal en atelier sans interruption excessive due au développement de la CCFA.

Le premier étage centralise la commande de tout le matériel informatisé en un seul ordinateur central. Le deuxième étage configurera les interfaces utilisateurs et établira un processus de coordination du matériel d'après les suggestions des utilisateurs. Le troisième étage assure le contrôle et le rapport des défaillances pour permettre à l'utilisateur d'apporter les correctifs appropriés en cas d'erreurs. Le quatrième étage utilise le processus de coordination défini (deuxième étage) pour automatiser la coordination. Le cinquième étage applique la technologie des systèmes experts pour coordonner le matériel et maximiser son utilisation. Le dernier étage généralisera la CCFA pour accroître la quantité de matériel contrôlable dans l'installation de fabrication. La CCFA pourrait comprendre d'autres fonctions et caractéristiques, mais celles-ci pourront faire partie d'une future version améliorée.

Commande numérique intégrée

M. Yeung

Les entreprises qui utilisent du matériel de commande numérique automatisée (CNC) font souvent face aux problèmes de gestion des fichiers de commande numérique et de centralisation de la commande CNC. Ces problèmes perturbent le calendrier de production et ralentissent le processus de production. Ils sont particulièrement graves dans un atelier où le travail consiste surtout à traiter de petites quantités d'une grande variété de composants.

Le transfert des fichiers de commande numérique (NC) du support de programmation au matériel CNC par le biais du ruban de papier complique sérieusement la gestion des fichiers NC. Les rubans de papier sont facilement endommagés par l'usure, les déchirures, la saleté, les bris du perforateur, etc. L'entreposage du papier est peu commode et coûteux. La lecture d'un programme NC est laborieuse et coûteuse.

La commande du matériel CNC nécessite souvent le recours à des informations sur l'état du matériel. Ces données sont en général recueillies par l'opérateur, qui en prend note pendant le fonctionnement de la machine; ces données ne sont pas exactes en raison de l'imprécision de l'observation humaine. Elles ne sont donc pas fiables du point de vue des analyses ultérieures.

Le projet vise le développement, en collaboration avec ICAM Technologies Corporation, d'un outil flexible qui exploite l'approche de la mise en réseau informatique pour réaliser le transfert des fichiers de NC et le contrôle de la machine. L'intégration des technologies actuelles et du matériel ainsi que l'ajout du nouveau logiciel produiront une solution complète qui sera commercialisée sous forme d'un produit peu coûteux mais efficace.

Ce projet est réparti en trois phases. La première phase comportera l'analyse, la conception et le développement du logiciel de gestion de fichiers ainsi que du logiciel de commande du réseau et de communications. La phase deux portera sur les essais du matériel. Finalement, la phase trois sera celle de la spécification, de la configuration et des essais du matériel et du logiciel dans une application d'atelier en temps réel.

Planification pour les mini-aciéries

C.J. Wu, H. Liontas, P.W.U. Graefe[1]

Les principaux avantages des mini-aciéries sont la versatilité, la rapidité de réponse aux demandes du client, les frais de transport peu élevés et le faible investissement en capital. Malheureusement, les frais de transport peu élevés correspondent en général à un grand nombre de clients et une petite quantité de chaque produit. La rapidité de réponse aux demandes du client occasionne des changements fréquents de la chaîne de montage ou le maintien d'un large inventaire, deux causes d'accroissement des coûts de production. On a développé et implanté dans une mini-aciérie typique un programme de planification de la production qui réduit au minimum les coûts de modification de la chaîne de montage des laminoirs et évalue instantanément l'état d'un plan modifié.

[1] Division de génie mécanique.

Ce programme fait partie du système d'automatisation de la production dans les miniaciéries et servira surtout aux départements des ventes et de l'expédition. Les profils de laminage généraux, le numéro du produit, le nombre de tonnes produites et la date de sortie prévue sont les données d'entrée du programme. Le programme utilise les données des commandes différées, les données des ventes antérieures et l'ordre logique pour produire automatiquement un calendrier de production, tout en gardant au minimum le temps d'inactivité due aux changements.

Le programme compte deux parties : l'interface utilisateur, qui comprend la gestion de l'écran, la mise en forme des données et l'accès aux fichiers, ainsi que le programme d'optimisation, comportant les fonctions de sélection du laminage et d'optimisation du calendrier. Une méthode d'énumération combinatoire est appliquée au nombre minimal de cylindres à utiliser pour le groupe de produits, le temps de modification est calculé à partir des cylindres choisis dans les données de base, et la séquence est déterminée en réduisant le plus possible le temps de modification total au moyen de l'algorithme du commis-voyageur.

Le programme a été implanté avec succès et a fait l'objet d'une utilisation intense. Il réduit en moyenne de 10 à 20 % le temps d'inactivité due aux changements. Dans un cas complexe, la réduction est de près de 40 % (16 heures du temps du laminoir). Le programme donne aussi au personnel des ventes un aperçu complet du processus et les informe des frais de modification d'un calendrier existant, tout en évitant aux ingénieurs d'expérience des laminoirs le travail de planification. De plus, on étudie de nouvelles pratiques tout en éliminant d'anciennes pratiques fondées sur des perceptions erronées.

Systèmes à base de connaissances

Système expert pour soudure par résistance

G.D. Sawatzky, R. Jackson

Ce projet vise le développement d'un système expert pour la production de procédures de soudure par résistance (figure 5). Ce système acceptera une description de tous les matériaux à souder ainsi que leurs conditions de soudure et produira un jeu initial de paramètres de soudure (courant, pression, temps) et une description des électrodes à utiliser. D'après la description de la perle de soudure résultante, il suggère des modifications à apporter aux paramètres de soudure (figure 6). Les sources des connaissances utilisées pour le développement de ce système sont la documentation sur la soudure par résistance de Bristol Aerospace, des entrevues avec le meilleur soudeur par résistance de Bristol (plus de 20 ans d'expérience) et la documentation dont nous disposions.

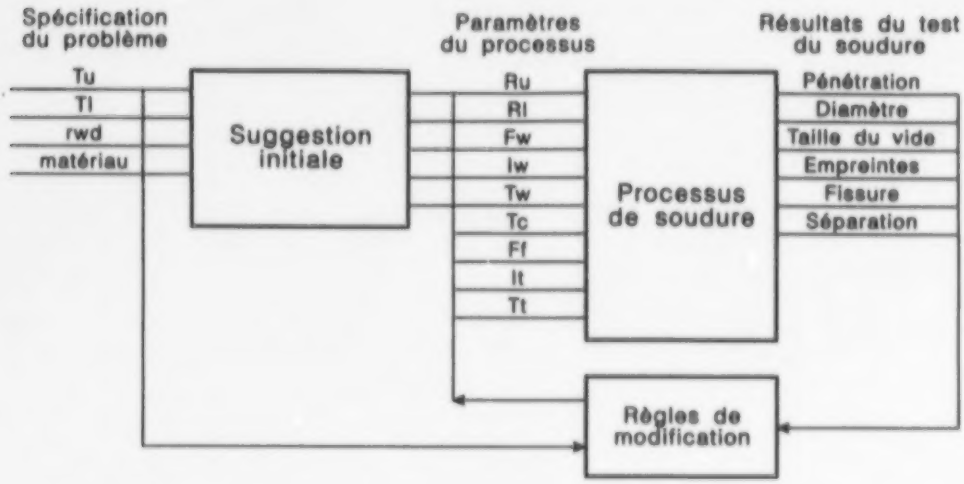
À l'heure actuelle, le système expert est implanté sous forme d'une série d'«objets» logiciels, chacun couvrant les connaissances liées à une composante du domaine du problème. Cette approche de programmation orientée objet permet à ces objets relativement simples de communiquer entre eux par la transmission de «messages» et de créer un riche réseau de connaissances avec la programmation la plus simple possible. Les objets et leurs «méthodes» de traitement de ces messages décrivent un «modèle qualitatif» des relations entre les paramètres d'une procédure de soudure. Ce modèle est appelé par une série de règles qui corrigent les défauts d'après l'essai antérieur.

Système expert de planification pour fabricants de biens non durables

G.D. Sawatzky

Le développement de systèmes de planification est un secteur de recherches très vaste, dans lequel plusieurs nouveaux produits ont été mis au point. Toutefois, plusieurs fabricants canadiens de vêtements n'utilisent pas de système informatisé pour leurs travaux de planification. Cette situation peut s'expliquer par la nature saisonnière de leurs entreprises, l'importance de la mode, l'environnement dynamique du point de vue du client et du temps de production nécessaire au fournisseur, et la difficulté de tenir à jour des données exactes. Certains membres de l'industrie croient donc qu'un système expert spécialisé de planification est nécessaire pour bien exploiter les connaissances propres aux problèmes de planification et pour conseiller l'utilisateur en ce qui a trait aux options possibles.

Strategic Innovations Inc., une entreprise de développement de logiciels qui travaille avec les fabricants canadiens de biens non durables, veut mettre au point une version commerciale d'un système expert de planification pour l'industrie du vêtement. En 1988–89, le prototype original a été converti en CommonLISP afin d'améliorer sa performance, établie à partir de données d'essais obtenues d'un fabricant de vêtements local. D'après l'intérêt exprimé par les utilisateurs potentiels, Strategic Innovations a entrepris le développement d'une version commerciale du prototype.



Spécification du problème

Tu: Épaisseur du matériau supérieur
Tl: Épaisseur du matériau inférieure
rwd: Diamètre de soudure nécessaire
matériau: Composition des feuilles à souder

Paramètres du processus

Ru: Rayon du contour de l'électrode supérieure
Rl: Rayon du contour de l'électrode inférieure
Fw: Force pendant l'impulsion de soudage
Iw: Courant pendant l'impulsion de soudage
Tw: Durée de l'impulsion de soudage
Tc: Temps de refroidissement entre les impulsions
Ff: Force pendant la période de forgeage
It: Courant pendant l'impulsion de durcissement
Tt: Durée de l'impulsion de durcissement

Résultats du test du soudage

- Pénétration de la perle de soudage dans les feuilles (%)
- Diamètre de la perle de soudage
- Taille du vide
- Empreintes des électrodes
- Fissurage du matériau
- Séparation des feuilles autour des perles
- Autres...

Figure 5. Processus de production du plan de soudure.

L'amélioration du prototype LISP se poursuivra grâce aux réactions des utilisateurs industriels et à des entrevues avec les experts en planification. La version commerciale éventuelle comportera des fonctions éprouvées.

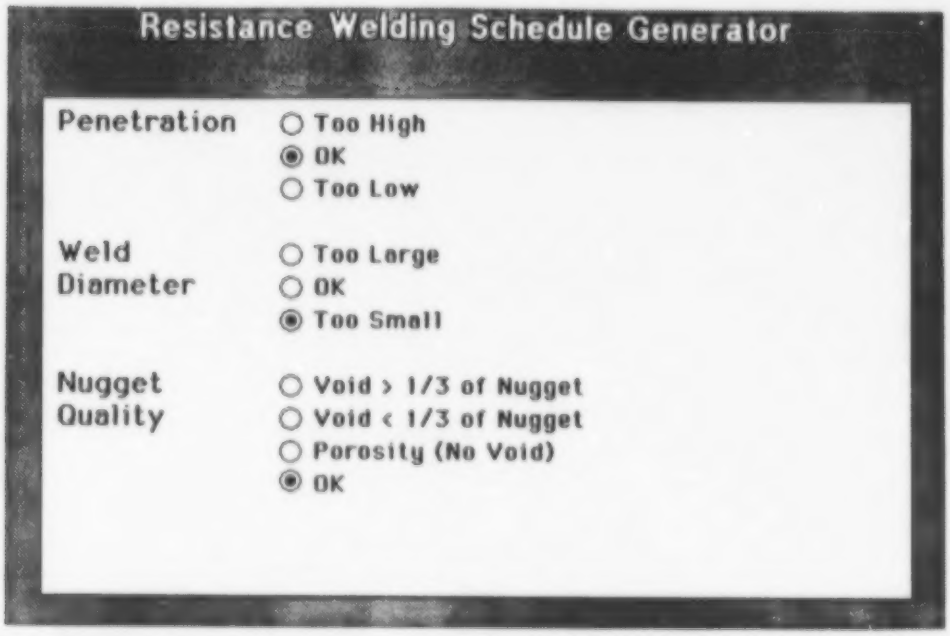
Diagnostic clinique des thromboses veineuses profondes

N. Pizzi

Les thromboses veineuses profondes (DVT) — la coagulation du sang dans le coeur et les grands vaisseaux sanguins — est une condition grave qui touche un grand nombre des patients ayant subit le remplacement complet d'une articulation. À l'heure actuelle, la détection des DVT en clinique est peu fiable et par conséquent, le traitement ne commence habituellement qu'après sa détection postopératoire. Le système projeté de diagnostic automatisé, qui sera développé en collaboration avec Knowledge Systems of Canada et l'Hôpital général de Saint-Boniface, aidera le clinicien à améliorer le taux de détection de cette maladie.

Le projet comporte trois objectifs : incorporer les méthodes d'analyse statistique

(a)



(b)

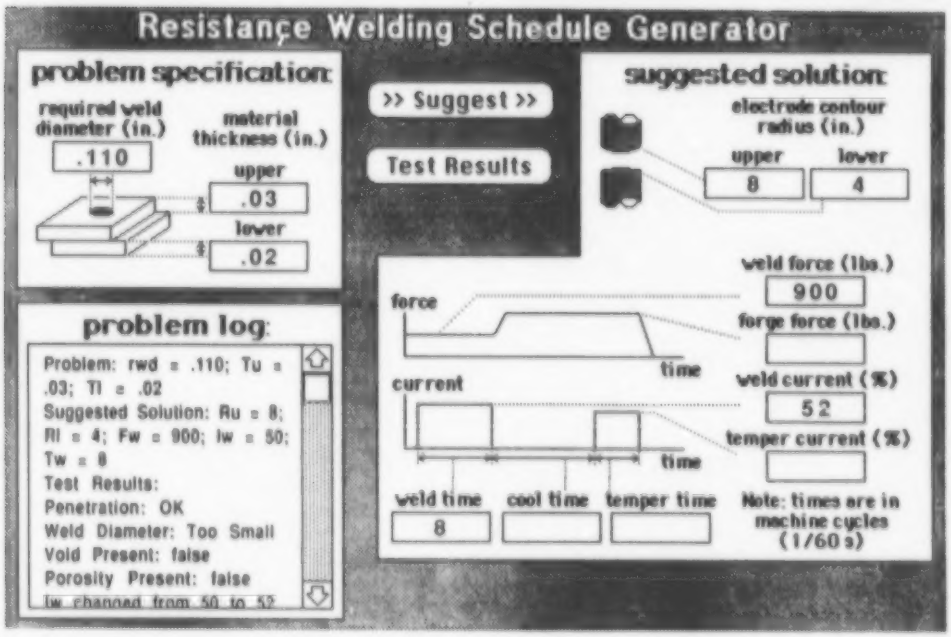


Figure 6. Générateur du plan de soudure par résistance.

traditionnelles utilisées normalement dans les projets de recherches cliniques pour la détection des DVT; introduire des données qualitatives dans le système comme, par exemple, les dossiers d'activités des patients et les dossiers des observations du personnel infirmier; et étudier la faisabilité de généraliser le système à un outil de diagnostic applicable dans tout projet de recherches médicales en épidémiologie clinique.

Le système sera développé en parallèle avec la méthode traditionnelle d'extraction des données et d'analyse statistique par les chercheurs cliniques. Un fibrinogène à indicateur radioactif sera administré après l'opération à tous les patients faisant partie de l'étude, afin de faciliter la détection des thromboembolies (des obstructions dans les vaisseaux, transportées par le sang depuis leur lieu d'origine).

Mémoires récents

Publiés

El-Hakim, S. F. A hierarchical approach to stereo vision. Photogramm. Eng. Remote Sensing, 55(4): 443–448; CNRC 29767.

El-Hakim, S.F. Stereo vision system for on-machine dimensional metrology. Applications of Artificial Intelligence VII Symposium, SPIE Vol. 1095, pp. 310–320. Mars 1989. CNRC 30105.

El-Hakim, S.F. Limiting factors of real-time image metrology. 16th Congress of the International Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 27, Part B2, juillet 1988. pp. 97–109. CNRC 30678.

Orban, P., The, G., et Van den Berg, B. A robot based CMM — feasibility study. Proceedings of the Symposium on Manufacturing Application Languages, Winnipeg (Man.). 20–21 juin 1988. pp. 87–96. CNRC 30676.

Pizzi, N.J., Kapoor, S., et Gerrard, J.M. Hematology expert system (HES) for tonsillectomy/adenoidectomy patients. SPIE Proceedings, «Applications of Artificial Intelligence VII», Orlando (FL). 27–31 mars 1989. CNRC 29968.

Présentés

Barakat, M. Canadian Institute of Industrial Technology (CIIT): A novel approach to technology transfer. Conference on Automated Integrated Factory, AUTOFACT '88, Chicago (IL). Octobre 1988.

Sawatzky, G. Goldworks for pedestrians. CNRC/ICTI, Winnipeg (Man.). 19 mai 1988.

The, G. NRC and CIIT Winnipeg activities. Laboratoire électrotechnique, Tsukuba, Japon. 14 mars 1989.

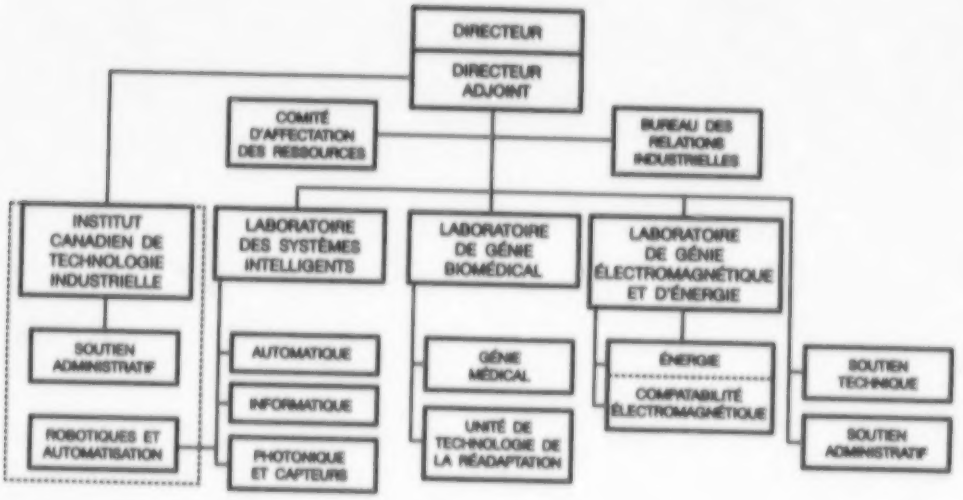
The, G. Robot based CMM feasibility study. Laboratoire électrotechnique, Tsukuba, Japon, 14 mars 1989.

The, G. Robot based CMM. Fuji Electric, Hino, Japon. 16 mars 1989.

The, G. NRC-Canada and CIIT-Winnipeg overview. Fuji Electric, Hino, Japon. 16 mars 1989.

Annexe A

Organigramme



Personnel, 1er avril 1988 au 31 mars 1989

Directeur — S.A. Mayman

Directeur adjoint — M.M.C. Collins

Secrétaire du directeur — A.C. Dunn

Ingénieur de recherches principal — J.Y. Wong

Bureau des relations industrielles — A.M. Hlady

Arnold, J.G.
Birnbaum, K.[1]
Chartrand-Mulvey, L.
Neal, G.
O'Hara, D.H.
Scrimgeour, J.H.C.

Administration et gestion de matériel — M.M. Fox

Services administratifs

Crupi, F.
Houle, C.
Kenny, S.
Lambert, C.
Manson, M.

Approvisionnements et magasins — Weston, G.H.

Lajeunesse, M.
Lamont, J.D.
Osborn, L.
Taggart, S.J.[2]
Wilson, D.G.D.

[1] Déplacée à la Direction des services liés à la gestion en juin 1988.
[2] Donnée sa démission en mai 1988.

Services de soutien technique — C.C. Esmer

Atelier de développement — D.F. Milne[1]

Bouchard, S.
Bramall, B.K.
Dunlop, D.A.
Farr, B.C.
Hendley, J.G.
Kritsch, R.A.
L'Abbé, P.C.
Legere, J.
Marchington, D.C.
Pollex, G.P.
Poulin, D.A.W.
Preece, N.
Taylor, A.R.
Tierney, K.G.

Travailleur invité

Landry, J.[2]

Dessin et photographie

Ablack, V.G.
Amirault, P.C.
Cameron, L.A.
Gamache, D.
Schoenherr, K.
Vallières, R.A.
Walker, G.D.

Bureau des publications — E.M. Kidd

Tierney, T.A.

Laboratoire de génie biomédical — O.Z. Roy

Génie médical — O.Z. Roy

Personnel scientifique

Black, R.C.
Crabtree, D.
Durie, N.D.
Forester, G.V.
Kadamani, E.
Korba, L.W.
Lang, S.
Mortimer, A.J.
Nelson, P.J.

Personnel technique

Farley, R.
LaFleur, C.
McSheffrey, L.
Park, G.C.
Saver, W.
Scott, J.
Skrypnyk, R.
Statham, A.
Trollope, B.J.
Villeneuve, E.J.

Bourse post-doctorale

Nedelec, J.-F.

Travailleurs invités

Armstrong, G.W.D.[3]
Chow, D.[3]
Gilbert, S.[3]
Harrison, S.[4]
James, K.[5]
Johnson, K.[6]
Lovas, M.A.[3]
Maule, A.[7]
Peterson, E.[3]
Runolfson, R.[8]
Truong, J.[6]
Wilson, J.[4]

Étudiants

Benhassin, N.
Birnbaum, E.
Capes, S.
Little, I.

Technologie de la réadaptation — J. Bateman

Personnel scientifique

Bennett, W.G.
Clark, I.P.
Liu, A.J.W.

Personnel technique

Ayvazyan, H.
Kennedy, L.L.
Kerr, S.A.[8]
Tam, M.
Tremblay, R.

Étudiant

Taylor, K.

---

[1]Retraité en juin 1988.
[2]Pylon Electronic Development Company Limited, Nepean (Ontario).
[3]Hôpital Civic d'Ottawa, Ottawa (Ontario).
[4]Terray Manufacturing Inc., Arnprior (Ontario).
[5]Expert-conseil, Ottawa (Ontario).
[6]Université Carleton, Ottawa (Ontario).
[7]Ottawa Mobility Manufacturing, Nepean (Ontario).
[8]Donnée sa démission en mars 1989.

Laboratoire de génie électromagnétique et d'énergie — M.M.C. Collins

Énergie — W.J.M. Moore

Personnel scientifique

Arseneau, R.J.
Bamji, S.S.
Bulinski, A.T.
Densley, R.J.
Filipski, P.S.
Kashyap, S.
Kekez, M.M.
LoVetri, J.
McComb, T.R.
Podgorski, A.S.
Seregelyi, J.
So, E.

Personnel technique

Angelo, D.J.
Bennett, D.
Cassidy, B.R.
Cook, P.R.
Cossette , L.
Dagg, G.B.
Dunn, J.G.
Gibeon, G.
Grünwald, A.
Robert, J.E.P.
Rocheleau, D.O.
Sabourin, I.
Williscroft, G.
Zelle, J.J.

Travailleurs invités

Antar, Y.M.M.[1]
Gautier, R.[2]
Hendry, A.[3]
Hurd, R.A.[4]
Muto, H.[5]

Étudiants

Decarie, P.
Fischer, C.
Jovanovic, M.
O'Riley, C.
Strangas, N.

Laboratoire des systèmes intelligents — M.M.C. Collins

Automatique — N. Burtnyk

Personnel scientifique

Archibald, C.
Bechthold, G.H.
Elgazzar, S.
Evans, K.B.
Gentleman, W.M.
Green, D.A.
Hung, S.H.Y.
Kelley, J.V.
Liscano, R.
MacKay, S.A.
Merritt, C.
Parr, R.[6]
Roth, G.
Shapertycki, T.H.
Stewart, D.A.
Wein, M.

Personnel technique

Binch, A.
Colwell, M.
Duggan, M.D.
Taylor, D.G.

Travailleurs invités

Amid, S.[7]
Donenfeld, A.[8]
Huang, Y.[9]
Kasvand, T.[10]
Klinkhammer, R.[6]
Normand, L.-P.[11]
Smith, G.[12]
Venkatesan, S.[13]

Adjointe temporaire

Fuller, M.

Étudiants

Paquin, M.A.
Rosch, J.G.
Wood, K.

---

[1]College royal militaire, Kingston (Ontario).
[2]R&D Optics, Ottawa (Ontario).
[3]Retraité en août 1986.
[4]Retraité en mars 1985.
[5]The Furukawa Electric Co., Ltd., Tokyo, Japon.
[6]Donné sa démission en November 1988.
[7]Université McGill, Montréal (Québec).
[8]Multiprocessor Toolsmiths, Ottawa (Ontario).
[9]Beijing Institute of Data Processing Technology, Beijing, République populaire de Chine.
[10]Expert-conseil, Ottawa (Ontario).
[11]Ministère de la Défense nationale, Ottawa (Ontario).
[12]Université de Waterloo, Waterloo (Ontario).
[13]Université Concordia, Montréal (Québec).

Informatique — J.W. Brahan

Personnel scientifique

Abu-Hakima, S.
Buck, L.J.
Craddock, A.J.
Davidson, P.L.
Diaz, A.C.
El-Zorkany, H.I.
Famili, A.
Farley, B.
Halasz, M.S.
Henneker, W.H.
Orchard, R.A.
Parent, A.
Phan, C.S.
Wylie, R.H.

Personnel technique

Booth, T.A.
Born, R.V.
Duford, C.[1]
McEwan, L.J.E.
Orpana, F.P.
Shevel, R.
Thibault, P.

Travailleurs invités

Boulet, M.M.[2]
Lambert, A.[3]
Vernadat, F.B.[4]

Étudiants

Selimer, P.E.
Szeto, S.
Thompson, J.

Photonique et capteurs — J. Domey

Personnel scientifique

Abdelmalek, N.N.
Blais, F.
Boulanger, P.B.
Chrostowski, J.
O'Sullivan, M.S.
Rioux, M.

Personnel technique

Alie, F.E.[5]
Cournoyer, L.
Dufour, A.G.
Fournier, T.
Gariépy, P.
Misner, R.

Attachés de recherches

Beraldin, J.-A.
Maigné, P.P.

Bourse post-doctoral

Boothroyd, S.A.

Travailleurs invités

Baribeau, R.[6]
Bock, W.J.[7]
Chan, L.Y.C.[8]
Fontaine, M.[7]
Hartsgrove, G.[9]
Jiang, W.[9]
Kopola, H.[9]
Peereboom, N.[10]
Wang, Z.[11]
Wartak, M.S.
Xue, M.[11]
Yuen, S.[9]
Zhang, Y.[11]

Adjoints temporaires

Artish, L.
Meszaros, L.
Porada, E.

Étudiants

Cormier, J.-P.
Cote, R.
Tessier, P.

Robotique et automatisation — M.A. Barakat

Personnel scientifique

Allston, J.
Chartier, P.
El-Hakim, S.
Jackson, R.
Liontas, H.
Miskiewicz, K.A.
Neilson, G.B.
Orban, P.
Pizzi, N.
Sawatzky, G.D.
The, H.G.
Wilk, S.F.
Wu, C.J.

Travailleurs invités

Feilu, L.[12]
MacKay, D.[13]

Étudiants

Bistyak, G.
Shafai, C.
Wagner, R.

---

[1]Donné sa démission en June 1988.
[2]Université Laval, Québec (Québec).
[3]Santé et Bien-être social Canada, Ottawa (Ontario).
[4]INRIA-Lorraine, Vandoeuvre-lès-Nancy, France.
[5]Retraité en avril 1989.
[6]Servo-Robot Inc., Boucherville (Québec).
[7]Université du Québec à Hull, Hull (Québec.
[8]Université Carleton, Ottawa (Ontario).
[9]Université d'Ottawa, Ottawa (Ontario).
[10]Canadian Astronautics Limited, Ottawa (Ontario).
[11]Xian Institute of Optics and Precision Mechanics, Xian, République populaire de Chine.
[12]Changsha Institute of Technology, Changsha, République populaire de Chine.
[13]Université du Manitoba, Winnipeg (Manitoba).

Institut canadien de technologie industrielle

Directeur — S.A. Mayman

Directeur exécutif — W.C. McGregor

Chef des opérations — J.P. Riese

Assistant administrative — N. Swanson,[1] C. Clague

Agent de marketing et de promotion — P.F. Kent

Sous-chef des opérations — K. Rawes

Secrétaire — D. Gareau

Commis de soutien administratif — A. Boily

Partenaires d'ICTI

Bristol Aerospace Limited
CAD Systems Inc.
Canadian Healthcare Telematics Inc.
Ciser Systems Corporation
Cryodynamics Manitoba Inc.
Digital Equipment of Canada Ltd.
Electronics Industry Association of Manitoba
FMC of Canada Limited
Gene Barbee & Associates Ltd.
ICAM Technologies Corporation
Indent Technologies Corporation
Insytech Inc.
Integrated Engineering Software Inc.
IRIS Systems Inc.
Knowledge Systems of Canada Ltd.
Manitoba Research Council
Monac International Corporation
Nygard International Ltd.
Online Enterprises Inc.
Otto Bock Orthopedic Industru of Canada Ltd.
Programme d'aide à la recherche industrielle du CNRC
Quantic Laboratories Inc.
Red River Community College
Slagerman Engineering Ltd.
Spiroll Kipp Kelly (1984) Inc.
Standard Aero Limited
Strategic Innovations Inc.
Ubitrex Corporation
Unisys Canada Inc.
Universal Robotics Corporation
University of Manitoba
University of Winnipeg
Vadeko International Inc.
Voisys Incorporated
Wardrop Engineering Inc.

Annex de la DGE, ICIST — J. Dyment

Day, M.

Infirmerie

Lorrain, L.

[1]Congé pour les soins d'enfants, août 1988.

Répertoire des auteurs

Abdelmalek, N. 62
Abu-Hakima, S. 51, 53
Alston, J.L. 71
Amid, S. 39–40
Archibald, C. 40–41
Armstrong, G.W.D. 13
Arnold, J. 5
Arseneau, R. 23
Bamji, S.S. 25
Barakat, M.A. 69
Baribeau, R. 59
Batelaan, J. 19
Bechthold, G. 39
Bennett, W.G. 19
Beraldin, J.-A. 61
Bing, C. 66
Black, R.C. 13, 16
Blais, F. 60–61
Bock, W. 66
Boothroyd, S.A. 64
Boulanger, P. 62–64
Brahan, J.W. 16, 49, 51–52
Buck, L. 51
Bulinski, A. 25
Burtnyk, N. 39
Chan, L. 64
Chartier, P. 71
Chow, D. 13
Chrostowski, J. 64, 66–67
Clark, I.P. 19
Collins, M.M.C. 21, 31
Cormier, J.P. 63
Crabtree, D. 16
Craddock, A.J. 52
Cung, M. 63
Davidson, P.L. 53
Densley, J. 25
Diaz, A. 51
Domey, J. 60
Dufour, A. 67
Durie, N.D. 11
El-Hakim, S. 70–71
Elgazzar, S. 38
Evans, K.B. 42
Famili, A. 49
Farley, B. 50
Filipski, P.S. 23
Forester, G.V. 15
Foux, A. 13
Gentleman, W.M. 35
Gilbert, S. 13
Graefe, P.W.U. 74
Green, D. 43
Halasz, M.S. 53
Harrison, S. 13
Henneker, W.H. 49
Hlady, A.M. 3
Hung, S. 43
Jackson, R. 75
Jiang, W. 66
Kadamani, E. 13
Kashyap, S. 27
Kekez, M. 27
Kopola, H. 66
Korba, L.W. 11
Lang, S. 11
Liontas, H. 71, 74
Liscano, R. 43
Liu, A.J.W. 19
Lovas, M. 13
LoVetri, J. 27
MacKay, S.A. 35
Maigné, P. 64, 66
McComb, T.R. 23
Merrett, G.J. 13
Merritt, C. 40–41
Miskiewicz, K.A. 69, 72
Moore, W.J.M. 23
Mortimer, A.J. 14, 16
Mount, H.T. 16
Murnaghan, J.P. 13
Neal, G. 3
Nedelec, J.-F. 14
Neilson, G.B. 71–72
Nelson, P.J. 11
Niktash, M. 16
O'Hara, D.H. 3
O'Sullivan, M.S. 64
Orban, P. 69, 71–72
Orchard, R.A. 51–52
Parent, A.T. 52
Parr, R. 35
Peereboom, N. 64
Phan, C.S. 52–53
Pizzi, N. 76
Podgorski, A.S. 27
Porada, E. 64
Pressman, I.S. 16
Rioux, M. 57, 59–62, 64
Roy, O.Z. 7
Sawatzky, G.D. 69, 72, 75
Scrimgeour, J. 4
Seregelyi, J. 27
Shepertycki, T.H. 42
So, E. 23
Stewart, D.A. 35
Taylor, G. 71
The, G. 71
Uhthoff, H.K. 13
Wartak, M. 66
Wein, M. 35
Wilson, J. 13
Wu, C.J. 71, 74
Wylie, R.H. 51
Yeung, M. 71–74
Yuen, S. 66